

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 05.04.01 Геология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение геологии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Ценные и токсичные элементы-примеси в углях Арктики

553.94:550.4(985)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Майер Алексей Геннадьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Арбузов С.И.	Д.Г-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына З.В.	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Языков Е.Г.	Д.Г – М.Н		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ71	Майеру Алексею Геннадьевичу

Школа	ИШПР	Отделение	Направление
Уровень образования	Магистратура	Геология	Геология стратегических металлов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования</p>	<p>Объектом исследования являются 6 месторождений угля Арктической зоны России. Сырадасайское, Жиганское, Фандюшкинское, Омолойское, Каякское и Кайерканское. Изучение геохимии углей которых позволит судить о рентабельности комплексной отработки. Впоследствии, работа может использоваться как опора, для дальнейшего изучения редкометального потенциала углей Арктической зоны России.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов и мероприятия по их устранению:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; • действие фактора на организм человека; • предлагаемые средства защиты; <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электробезопасность (в т.ч. средства защиты); 	<p>Описание опасных и вредных факторов, возникающих при проектировании.</p> <p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Отклонение параметров микроклимата в помещении 3. Электромагнитное излучение <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Электрический ток
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объектов на атмосферу – анализ воздействия объектов на гидросферу 	<p>Общая оценка воздействия разработки угольных месторождений на окружающую среду.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 	<p>Рассмотрение причин возникновения и предотвращения пожароопасной и взрывоопасной ситуации.</p>

– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Рассматриваются требования по организации условий труда, а также режим труда и отдыха при работе с ПК

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Майер Алексей Геннадьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ71	Майеру Алексею Геннадьевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение геологии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	05.03.01 Геологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Сметная стоимость камеральных и полевых работ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ССН-92, СНОР-93
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30% страховые взносы; 20% НДС; 0,4 профессиональные риски.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка перспективности проведения исследований по геохимии углей
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление плана исследований по анализу геохимии углей
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет итоговой стоимости исследований геохимии углей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Майер Алексей Геннадьевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 05.04.01 Геология

Отделение школы (НОЦ) Отделение геологии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Язиков Е.Г.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2ЛМ71	Майеру Алексею Геннадьевичу

Тема работы:

Ценные и токсичные элементы-примеси в углях Арктики	
Утверждена приказом директора	От 11.02.2019 №1060/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Предметом исследования является элементный состав углей Арктической зоны России. Исследуемые месторождения: Сырадасайское, Жиганское, Фандюшкинское поле, Омолойское, Каякское, Кайерканское.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Геохимическая изученность углей Арктической зоны России 2. Геолого-географическая характеристика исследуемых месторождений 3. Методика проведенных работ 4. Геохимия углей исследуемых месторождений 4. Финансовый менеджмент 5. Социальная ответственность
Перечень графического материала	<p>Рисунок 2.1 – Геологическая карта о. Сахалин</p> <p>Рисунок 2.2 – Карта-схема расположения Сырадасайского месторождения</p> <p>Рисунок 2.3 – Карта-схема расположения Жиганского месторождения</p> <p>Рисунок 2.4 – План расположения геологических участков Верхне-Алькатваамского угленосного района на геологической карте</p> <p>Рисунок 2.5 – Карта-схема расположения Омолойского месторождения</p> <p>Рисунок 2.6 – Карта-схема расположения Каякского месторождения</p> <p>Рисунок 2.7 – Карта-схема расположения Кайерканского месторождения</p> <p>Рисунок 3.1 Микровиброистиратель</p> <p>Рисунок 4.1 – Гистограммы нормального распределения содержания Vg и Ca</p> <p>Рисунок 4.2 – Гистограммы логнормального распределения содержания As и Sb</p> <p>Рисунок 4.3 – График показателей кларка концентрации на Сырадасайском месторождении</p> <p>Рисунок 4.4 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.5 – График показателей кларка концентрации на Жиганском месторождении</p> <p>Рисунок 4.6 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры</p> <p>Рисунок 4.7 – Гистограммы распределения содержания Vg и Co</p> <p>Рисунок 4.8 – Гистограммы логнормального распределения содержания Cs и Rb</p>

	<p>Рисунок 4.9 – График показателей кларка концентрации на месторождении Фандюшкинское поле</p> <p>Рисунок 4.10 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.11 – График показателей кларка концентрации для Омолойского месторождения</p> <p>Рисунок 4.12 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.13 – Показатели кларка концентрации для Каякского месторождения</p> <p>Рисунок 4.14 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.15 – Показатели кларка концентрации для Кайерканского месторождения</p> <p>Рисунок 4.16 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.17 – Th/U отношение</p> <p>Рисунок 4.18 – La/Yb отношение</p> <p>Рисунок 4.19 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС)</p> <p>Рисунок 4.20 – Геохимическая специализация угольных месторождений Арктической зоны России</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Криницына З.В.
Социальная ответственность	Ассистент ООТД Мезенцева И.Л.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Арбузов С.И.	Д.Г.-М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

**Планируемые результаты обучения по основной образовательной программе
подготовки магистров по направлению 05.04.01 «Геология»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	<u>Фундаментальные знания</u> Применять базовые и специальные математические, естественнонаучные, гуманитарные, социально-экономические и технические знания в междисциплинарном контексте для решения комплексных инженерных проблем в области прикладной геологии.	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 2, ОК-6, ОК-12, 13, ОК-20, ПК-2, ПК-10, ПК-21, ПК-23,) (АВЕТ-3а,с,h,j)
P2	<u>Инженерный анализ</u> Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа в области поисков, геолого-экономической оценки и подготовки к эксплуатации месторождений полезных ископаемых с использованием современных аналитических методов и моделей.	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 2, 3, ОК-13, ОК-15, ОК-18, ОК-20, ОК-21, ПК-1, ПК-3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14 – 17, ПСК-3.1, ПСК-3.5, 3.6), (АВЕТ-3b)
P3	<u>Инженерное проектирование</u> Выполнять комплексные инженерные проекты технических объектов, систем и процессов в области прикладной геологии с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.	Требования ФГОС ВПО (ОК-1, 4 – 8, 14, ПК-3, 6 – 9, 11, 18 – 20) (АВЕТ-3с).
P4	<u>Исследования</u> Проводить исследования при решении комплексных инженерных проблем в области прикладной геологии, включая прогнозирование и моделирование природных процессов и явлений, постановку эксперимента, анализ и интерпретацию данных.	Требования ФГОС ВПО (ОК-3, 5, 9, 10, 14 – 16, 21, ПК-10, 11, 21 – 25, ПСК), (АВЕТ-3b,c)
P5	<u>Инженерная практика</u> Создавать, выбирать и применять необходимые ресурсы и методы, современные технические и ИТ средства при реализации геологических, геофизических, геохимических, эколого-геологических работ с учетом возможных ограничений.	Требования ФГОС ВПО (ПК-7 – 9, 28 – 30 ПСК) (АВЕТ-3е, h)
P6	<u>Специализация и ориентация на рынок труда</u> Демонстрировать компетенции, связанные с особенностью проблем, объектов и видов комплексной инженерной деятельности, не менее чем по одной из специализаций: <ul style="list-style-type: none"> • Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых • Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания • Геология нефти и газа 	Требования ФГОС ВПО (ОК-8 – 10, 12, 15, 18, 20, 22, ПК-1, ПСК) (АВЕТ-3с,e,h)
Универсальные компетенции		
P7	<u>Проектный и финансовый менеджмент</u> Использовать базовые и специальные знания проектного и финансового менеджмента, в том числе менеджмента рисков и изменений для управления комплексной инженерной деятельностью.	Требования ФГОС ВПО (ОК-1 – 3 13 – 16, 20, 21, ПК-4 – 6, 15, 18 – 20, 23 – 25, 27 – 30, ПСК-1.2, 2.2) (АВЕТ-3е,k)
P8	<u>Коммуникации</u> Осуществлять эффективные коммуникации в профессиональной среде и обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в области прикладной геологии.	Требования ФГОС ВПО (ОК-3 – 6, 8, 16, 18, 21, ПК-3, ПК-6, ПСК) (АВЕТ-3g)
P9	<u>Индивидуальная и командная работа</u>	Требования ФГОС ВПО (ОК-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Эффективно работать индивидуально и в качестве <i>члена</i> или <i>лидера команды</i> , в том числе междисциплинарной, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных инженерных проблем</i> .	4, 6, 18, ПК-3, 6, 11, 27, 30, ПСК-1.2) (АВЕТ-3d)
P10	<u>Профессиональная этика</u> Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать нормам профессиональной этики и правилам ведения <i>комплексной инженерной деятельности</i> в области прикладной геологии.	Требования ФГОС ВПО (ОК-7, 8, 19, ПК-9, 16), (АВЕТ-3f)
P11	<u>Социальная ответственность</u> Вести <i>комплексную инженерную деятельность</i> с учетом социальных, правовых, экологических и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, нести социальную ответственность за принимаемые решения, осознавать необходимость обеспечения устойчивого развития.	Требования ФГОС ВПО (ОК-5, 7, 8, 10, 13, 14, 16 – 21, ПК-27-30) (АВЕТ-3с,h,j)
P12	<u>Образование в течение всей жизни</u> Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению</i> и непрерывному <i>профессиональному совершенствованию</i> .	Требования ФГОС ВПО (ОК-9 – 12, 14, 20) (АВЕТ-3i)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалифицированная работа содержит 124 страницы, 28 рисунков, 25 таблиц, 50 источников, 1 приложение.

Ключевые понятия: угли, угольные месторождения, элементы-примеси, геохимия, Арктика.

Цель работы:

Изучить геохимические особенности элементов-примесей в углях, золах углей угольных месторождений Арктической зоны России.

Задачи:

1. Оценить геохимическую, геологическую изученность исследуемых месторождений.
2. Освоить методику пробоотбора и пробоподготовки.
3. Провести аналитические работы по полученным результатам анализов.
4. Изучить закономерности распределения элементов-примесей в углях, на основе интерпретации полученных данных.
5. Дать оценку о возможной комплексной отработке данных месторождений.

Объектом исследования являются угли Сырадасайского, Жиганского, Фандюшкинского, Омолойского, Каякского и Кайерканского месторождений.

Предмет исследования: элементный состав углей.

Результатом проведенных работ являются материалы по геохимии углей нескольких месторождений Арктической зоны России. Полученные данные могут быть использованы в различных направлениях угольной промышленности, а также являются дополнением к масштабным исследованиям геохимии угля в целом.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ УГЛЕЙ АРКТИКИ.....	16
2 ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ	19
2.1 Сырадасайское месторождение.....	20
2.2 Жиганское месторождение.....	22
2.3 Месторождение Фандюшкинское поле.....	24
2.4 Омолойское месторождение.....	26
2.5 Каякское месторождение	28
2.6 Кайерканское месторождение.....	30
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ.....	33
3.1 Методика опробования	33
3.2 Методика пробоподготовки	35
3.3 Методика аналитических исследований	37
3.4 Анализ полученных данных.....	40
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. СОДЕРЖАНИЕ ЦЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ	41
4.1 Сырадасайское месторождение.....	41
4.2 Жиганское месторождение.....	51
4.3 Фандюшинское поле	54
4.4 Омолойское месторождение.....	59
4.5 Каякское месторождение	63
4.6 Кайерканское месторождение.....	69
4.7 Среднее содержание элементов в углях и золах углей исследуемых месторождений Арктической зоны России.....	75
5 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ЦЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В УГЛЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....	80

6	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	87
6.1	Расчет объемов работ, затрат труда и размера страховых взносов.....	87
6.2	Нормы расхода материалов.....	90
6.3	Расчет амортизационных отчислений.....	91
6.4	Расчет стоимости подрядных работ.....	92
6.5	Общий расчет сметной стоимости работ.....	93
7	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	94
7.1	Анализ выявленных вредных факторов и мероприятия по их устранению.....	95
7.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	100
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
	СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	108
	Приложение А.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Северная часть России – Арктическая зона, уже не первый десяток лет считается перспективным регионом для развития. В данный момент Арктика переживает третью волну индустриализации. Этот регион является особенным хотя бы по двум показателям: на его территории живет не более 2 % населения России (менее 3 млн человек) и при этом на его долю приходится более 12 % ВВП страны [45]! Здесь располагается огромная минерально-сырьевая база России, в том числе и угля.

Арктическая зона России – наименее изученный из всех регионов страны. При этом является одним из важнейших стратегических районов. Сдерживающим фактором для развития данного региона является природный фактор. Суровый климат вкупе с отсутствием развитой инфраструктуры не позволяет говорить о легком и масштабном освоении Арктики. Именно поэтому, правительство и предприниматели подходят к освоению Арктики аккуратно и не торопясь, стараясь учитывать все возможные риски. На данный момент законопроект «О развитии Арктической зоны России» уже претерпел несколько изменений. Последняя версия переформатирована в «закон об опорных зонах», финансовая сторона которого «не предполагает серьезного финансирования».

В качестве фундамента этого проекта выступает «опора на зоны», которые расположены по территории всей арктической России, как бы огибая материк. Всего этих зон 8: Кольская, Архангельская, Ненецкая, Воркутинская, Ямало-Ненецкая, Таймыро-Туруханская (или Норильская), Северо-Якутская и Чукотская [45]. Название их соответствует географии.

Примечательным является тот факт, что программа отличается от других тем, что не намеревается развивать какую-то определённую отрасль производства (например, нефтегазовую), а нацелена на то, чтобы развитие шло территориально. Иными словами, каждая из вышеупомянутых локаций

развивалась в соответствии со своими «возможностями». И одной из баз для создания «опорной зоны» являются угольные месторождения.

На территории региона имеются большие запасы угля: бурого, каменного и коксующегося. На данный момент, разрабатывается лишь самая малая часть имеющихся месторождений. И при благоприятной динамике развития региона это может измениться. Помимо освоения и разработки новых угольных месторождений просто необходимо учитывать возможность их комплексной отработки, что в рамках «общей» цели освоения региона хорошо «сыграет на руку» инвесторам и правительству.

Также, можно учитывать опыт как зарубежных, так и отечественных инвесторов, которые вложили средства в освоение месторождений в Арктической зоне и уже получают прибыль. В контексте данной работы примером выступают австралийская компания «Tigers realm Coal Limited», которые запустили добычу коксующегося угля на месторождении Фандюшкинское поле, и частная международная инвестиционная группа «AEON», планирующие начать добычу на Сырадасайском месторождении уже в этом году. Стоит отметить, что осуществление этих проектов, к сожалению, пока интересует в основном лишь иностранные компании. Поэтому, правительству стоит найти средства и возможности для развития Арктической зоны уже в ближайшее время, пока все ценные объекты не успели «уйти за рубеж».

Развитие Северного морского пути вкупе с программой освоения Арктики определило цель данной работы – изучить закономерности распределения, условия накопления ценных и токсичных элементов в углях Арктической зоны России. При реконструкции портов, шахт и освоении новых месторождений важную роль сыграют уже имеющиеся данные. Так, от показателей токсичности напрямую зависит экологическая чистота угля, и своевременное исследование по этому вопросу позволит сэкономить средства, а также обусловит «законную» экологически чистую как добычу, так и потребление ископаемого угля. Другим важным аргументом в пользу

актуальности работы является изучение редкометалльного потенциала, ведь при том, что разработка угольных объектов в Арктике толком не началась – существует возможность на этом этапе произвести доразведку, в случае обнаружения в ходе исследований повышенных концентраций, что в конечном итоге, может привести к значительным изменениям в подходе к добыче на данных участках. А «данными» являются 6 угольных месторождений, которые были выбраны в качестве исследуемых: Сырадасайское, Жиганское, Омолойское, Фандюшкинское, Каякское и Кайерканское. Материал, отобранный с территории этих месторождений, и является объектом исследований.

1 ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ УГЛЕЙ АРКТИКИ

Угольная промышленность является неотъемлемой частью экономики мира и России, в частности. И в связи со взятым Россией курсом на Арктику – важным аспектом в ее освоении является изученность.

Изначально следует отметить, что Арктическая часть нашей страны изучена во всех планах достаточно скудно, и угольная база Арктики – не исключение. Это следует из целого ряда причин, среди которых самими весомыми являются труднодоступность региона и его природная суровость. Но тем не менее, ряд ученых проделывали и продолжают проделывать колоссальный труд по изучению Арктических просторов на предмет угольных ресурсов, некоторые посвящают этому всю свою научную жизнь.

Главным исследователем Арктики на предмет геохимии угольных ресурсов является В.И. Вялов и его команда сподвижников, чьи работы являются основными трудами по изучению геохимии углей Арктической зоны России.

Одна из последних публикаций Владимира Ильича и команды – «Ценные металлы в углях арктической зоны России [5]» раскрывает вопросы о геохимическом потенциале углей Арктики, приводит последние и наиболее актуальные данные на сегодняшний день по оценке прогнозных ресурсов редких и ценных элементов в углях месторождений Арктической зоны России. В данной работе собраны данные о геохимии углей в Печорском, Ленском, Тунгусском, Таймырском, Зырянском угольных бассейнах, в угольных месторождениях Чукотки, Камчатки, Земли Франца-Иосифа, установлены аномальные концентрации целого ряда ценных элементов-примесей (Sc, Ti, V, Ga, Ge, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, TR и др.) [5]. Не менее важным является и политика ученого и его команды, направленная на аргументацию возможности комплексной отработки месторождений углей Арктики, что принесет свою лепту в развитие региона в целом.

Также следует отметить, что в работе приводится четкая связь между территориальным расположением месторождений, районов и провинций углеводородов и аналогичных угольных объектов.

Взаимосвязь углеводородного и угольного сырья исследовал и В.А. Каширцев – признанный специалист в области геологии нефти и газа. Параллельно с работой над основными трудами (нефтегазовая геология), ученый провел исследования по геохимии редких и редкоземельных элементов в углях Ленского бассейна, изучил возможные механизмы их накопления в угольных пластах. Совместно с другими учеными выделил Жиганскую угленосную провинцию с редкоземельным оруденением. Результаты исследований отражены в работе «Угли Ленского бассейна как потенциальный источник редкоземельных элементов» [8]. В работе отражены результаты исследований элементного состава углей Ленского бассейна, в том числе на примере Жиганского месторождения. Исходя из данных В.А. Каширцева – содержания многих ценных компонентов в пересчете на золу значительно превышают кларковые. А оценить их промышленную значимость довольно сложно, в силу отсутствия утвержденных критериев.

Не стоит оставлять без внимания работу «Механизм концентрирования платиновых металлов в углях месторождения Кайеркан близ Норильска: по данным модельных и натуральных экспериментов» [3] под авторством Г.М. Варшал и др. В работе описан возможный вариант накопления платиноидов в углях Кайерканского месторождения (содержания элементов платиновой группы здесь близки к промышленным) – *«учитывая близость Норильских рудоносных интрузивов, можно полагать, что перенос ЭПГ происходил в форме их летучих соединений во флюиде, не содержавшем сульфидов, с последующей сорбцией этих соединений на угле по механизму комплексообразования»* [3].

Помимо В.И. Вялова, вопросы геохимии углей Арктики поднимались и другими учеными, пусть и в контексте более масштабных работ.

Так, знаменитые геохимики Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис освещали геохимию Арктики в таких работах как: «Неорганическое вещество углей», «Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях» [17,9]. В данных трудах упоминались интересующие в контексте данной диссертации месторождения, среди которых: Жиганское, Каякское, Кайерканское. А также приведена информация по Таймырскому и Беринговскому угольным бассейнам, что также является важным. Помимо краткого геологического описания, авторы предполагают возможные причины накопления тех или иных элементов на данных месторождениях.

Не менее важны труды еще одной группы ученых, во главе с С.И. Арбузовым «Геохимия и металлоносность углей Красноярского края» [1] и «Геохимия редких элементов в углях Сибири» [2], в которых подробно описаны геологическое строение, геохимическая изученность, металлоносность и экогеохимия углей Красноярского края, в том числе, интересующего в контексте данной диссертации Тунгусского угольного бассейна, в частности, на примере Каякского и Кайерканского месторождений.

Также, под руководством С.И. Арбузова, была опубликована статья «Токсичные элементы-примеси в углях Арктической части Сибири и дальнего востока» автором которой является В.И. Рыбалко[13]. В данной статье представлены данные по содержанию ценных и токсичных элементов примесей в угле ряда месторождений Арктической части Сибири и Дальнего Востока, в том числе Каякского, Омолойского и Жиганского. Наиболее подробно описаны элементы, являющиеся токсичными (Cr, Co, As, Sb, Th, U) [13].

2 ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В данной работе предметом исследования являются 6 месторождений (Сырадасайское, Жиганское, Фандюшкинское, Омойское, Каякское, Кайерканское), располагающиеся на территории Арктической зоны России (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Исследуемые месторождения на карте «развитие Арктической зоны России» [45]

2.1 Сырадасайское месторождение

Сырадасайское месторождение каменного угля располагается на западе Таймырского полуострова и входит в состав Таймырского угольного бассейна (рисунок 2.2). Этот бассейн имеет крупные запасы (около 200 млрд тонн) и входит в 10 крупнейших бассейнов мира. Занимает площадь более 80 тыс. км². Первые сведения об угольных месторождениях на Таймыре датируются 1843 годом. Бассейн расположен на крайнем севере Красноярского края на полуострове Таймыр. Простирается между Енисейским заливом и морем Лаптевых.

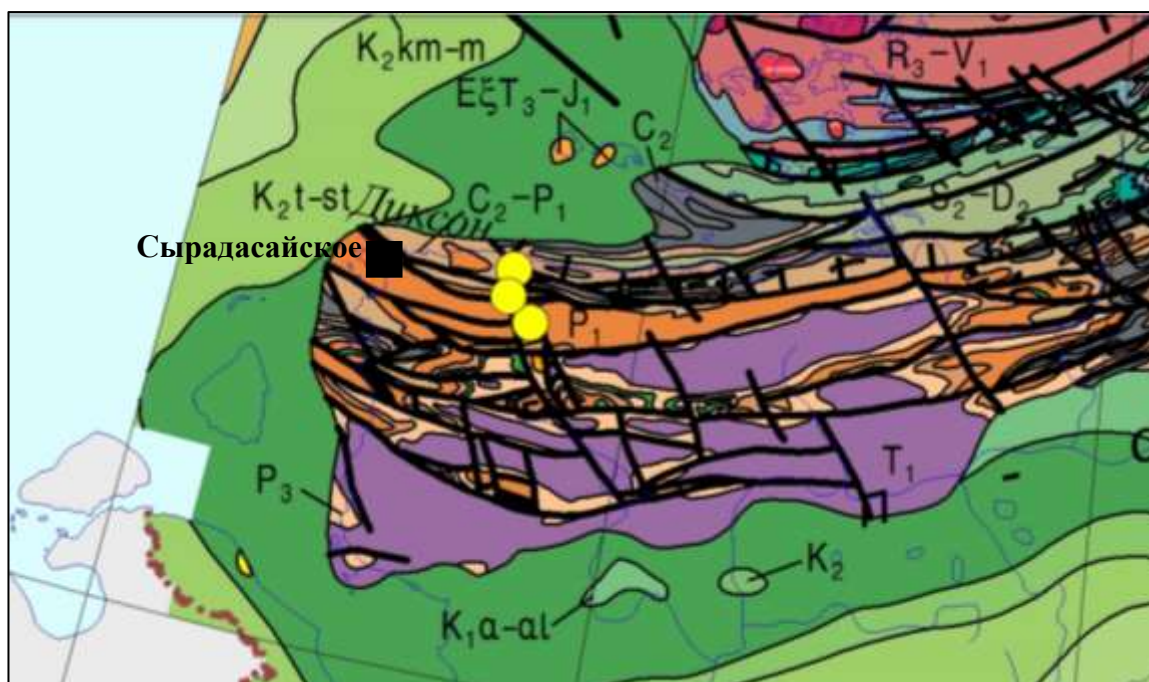


Рисунок 2.2 – Карта-схема расположения Сырадасайского месторождения (ГИС-Атлас «Недра России»)

В геологическом отношении район относится к Диксонскому мегасинклинию, являющемуся составной частью Таймырской складчатой области. Структурная принадлежность Сырадасайской угленосной площади к Пур-Тазовскому поднятию обуславливает ее геологическую особенность. В геологическом строении принимают участие стратиформные образования от нижнего карбона до нижнего триаса включительно, а также отложения

четвертичной системы, которые слагают два значительно разобщенных во времени комплекса пород.

Угленосными являются отложения пермского возраста. В стратиграфическом разрезе пермская система представлена 2 отделами и 3 свитами.

Нижний отдел. Ефремовская свита – широко распространена и обнажается в пологой присводовой части горст-антиклинали. Состоит из семи-восьми элементарных ритмов регрессивной направленности, мощностью от 5 до 22 метров, имеющих алевролит-песчаниковый и алевролит-песчанико-угольный составы.

Нижний отдел. Убойнинская свита – образует широкие поля отложений в присводовой части горст-антиклинали и в периклинальных частях дополнительных складок. Состоит из конгломератово-песчаниковой с углями в верхней части и алевролит-песчаниковой с углями частей.

Верхний отдел. Представлен терригенными угленосными отложениями крестьянской свиты. Крестьянская свита выходит на поверхность в виде узких полос, осложненных нарушениями в прибортовых частях антиклинали. Свита также разделена на 2 подсвиты. Нижняя сложена песчаниками, темно-серыми алевролитами невыдержанными маломощными пластами угля. В верхней подсвите песчаники подчинены алевролитам; разрез почти безугольный. Сырадасайская свита включает в себя в качестве нижней подсвиты толщу вулкано-терригенных отложений. Верхнюю подсвиту слагают субщелочные базальты, с подошвой по нижнему потоку. Нижняя подсвита представлена ритмично чередующимися туфопесчаниками и псаммитовыми туффитами с туфоалевролитами.

На месторождение пермские отложения содержат 20 угольных пластов, мощностью от 1 до 10 метров. Угли средnezольные (10-20 %), малосернистые. Ресурсы Сырадасайского месторождения оценены в 6 млрд тонн [15].

2.2 Жиганское месторождение

Жиганское месторождение относится к Жиганскому угленосному району. Район расположен в центральной части Ленского бассейна. Северная граница проходит по реке Уэль-Сиктях, близ Булунского района, южная – по Северному полярному кругу – с Сангарским районом. Западная граница определяется крайним контуром распространения угленосных отложений верхнеюрского возраста, восточная – совпадает с зоной верхоянского надвига. Протяженность района по меридиану составляет 355 км, его ширина – 80-120 км, общая площадь около 38 тыс. км².

Месторождение располагается вблизи поселка Жиганск и соседствует еще с 3 месторождениями – Ынгарским, Стрекаловским и Уаттахским.

Отложения преимущественно нижнемелового возраста (рисунок 2.3).

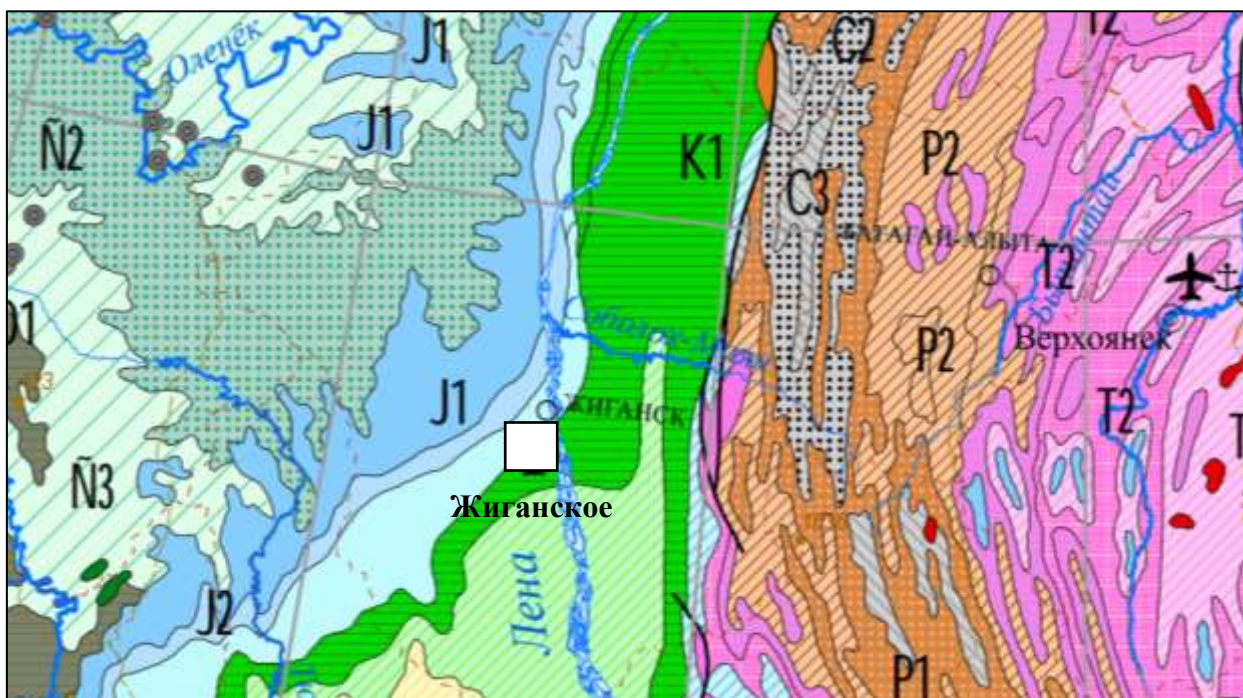


Рисунок 2.3 – Карта-схема расположения Жиганского месторождения (ГИС-Атлас «Недра России»)

Выделены в трёх свитах – батылхской, эксеняхской и хатырыкской. Батылхская свита, согласно общепринятой стратиграфической схеме, расчленяется (снизу-вверх) на: ынгарскую, чонгургасскую и сангарскую

подсветы. Отложения месторождения относятся к ынгыраской подсвете. Она представлена ритмичным чередованием песчаников и алевролитов. В ней насчитывается до 20 угольных пластов. Видимая мощность подсветы 260-280 метров. В районе западного склона Орултанского хребта и центральной части прогиба подсвета более песчаннистая. Угленосность ее здесь низкая, а мощность пластов увеличивается до 600 метров. На крайнем севере (север р. Джарджан) подсвета замещается морскими осадками. Возраст – берриас-валанджинский.

Жиганское месторождение приурочено к одноименной впадине, простирающейся от р. Эль-Сиктях на севере до Китчанского поперечного поднятия на юго-востоке. Впадина формировалась под влиянием процессов мезозойской активизации в Верхоянском мегантиклинории при наличии жесткого упора на западе в виде Анабарского щита, где впадина постепенно переходит к платформенному склону. На востоке по зоне Верхоянского разлома мегантиклинорий надвинут на Предверхоянский прогиб.

В ынгарской подсвете установлено 20 пластов и пропластков угля. Отдельные из них достигают мощности до 2-х метров. В районе западного склона Орулганского хребта и центральной части прогиба в бассейнах рек Бегиджян, Соболох-Маян и Менкере мощность угольных пластов 0,1-0,3 метра. На севере подсвета замещается безугольными морскими осадками.

Угли месторождения гумусовые. Наиболее типичны гелитовые и липоидо-гелититовые угли, в мацеральном составе которых значительно преобладает витринит (81-97 %); липтинит (3-19 %); инертинит и семивитринит (до 2 %). Качество углей в основном изучено по пробам, взятым с поверхности. В их подавляющей части угли окисленные, о чем свидетельствует высокое содержание гуминовых кислот и низкое – углерода и водорода. В связи с этим изменение степени метаморфизма углей по стратиграфическому разрезу отложений не прослеживается. Предполагается, что неокисленные угли месторождения длиннопламенные. Ресурсы месторождения (P1+P2) составляют 131,5 млн т [16].

2.3 Месторождение Фандюшкинское поле

Месторождение Фандюшкинское поле входит в состав Беринговского угольного бассейна, приуроченного к северной части покровно-складчатого Корякского хребта и является составной частью структур Беринговского прогиба Алькатваамского синклинория. Месторождение входит в число недавно разведанных участков Верхне-Алькатваамской площади. Располагается в юго-восточной части Алькатваамской впадины (рисунок 2.4). Фандюшкинское поле стало стартовой площадкой крупного угольного проекта из-за своего близкого расположения к порту и неглубокого залегания мощного угольного пласта [48].



Рисунок 2.4 – План расположения геологических участков Верхне-Алькатваамского угленосного района на геологической карте (Вялов В.И.)

Рельеф интенсивно расчлененный, низкогорный. Угленосными являются меловые отложения чукотской (средняя подсвита) и корякской (верхняя подсвита) свит. Меловые отложения представлены, в основном, песчаниками и алевролитами. Угленосные отложения месторождения приурочены к узкой грабенообразной структуре субширотного простирания [48].

Месторождение входит в состав Корякской складчатой зоны области кайнозойской складчатости с формирующейся континентальной корой. Основная структура – Беринговский прогиб.

Оценочными работами здесь выявлен угольный пласт Одинокий, мощность которого местами достигает 15 м. Пласт имеет сложное строение, количество породных прослоев непостоянно, меняется на коротких расстояниях и колеблется от 1-2 до 10-12 м, в среднем 5-7 м. Мощность породных прослоев и междупластья изменяется также в широких пределах – от первых сантиметров до 10-15 метров. Маломощные породные прослои представлены чаще всего алевролитом и углистым аргиллитом, мощные – песчаником. Иногда в угле встречаются прожилки кальцита и линзы сидерита. Кровля пласта представлена в основном алевролитом, иногда песчаником, подошва – алевролитом, переходящим постепенно в песчаник. Контакт угольного пласта с вмещающими породами резкий, часто неровный, эрозионный.

Угли преимущественно черные полублестящие. В мацеральном составе углей преобладают мацералы группы витринита. Ресурсная база месторождения оценивается в 70 млн тонн угля. При этом, на долю высококачественного коксующегося угля приходится около 90 %, остальные 10 % – энергетические окисленные угли. Отработка месторождения началась в декабре 2016 года. Район мало заселён. Ближайшие крупные населенные пункты: поселки Нагорный и Беринговский. С открытием месторождения была налажена наземная транспортная сеть. В планах владеющей компании также реконструкция порта в поселке Беринговский.

2.4 Омолойское месторождение

Омолойское месторождение угля относится к Яно-Омолойскому угленосному и торфоносному району. Располагается бассейн в междуречье нижних течений рек Яны и Омоя. Район является слабоизученным. Постоянного населения на исследуемой территории нет. Транспортная сеть отсутствует. Эти факторы, вкупе с суровым климатом, большой удаленностью от производственных инфраструктур осложняют освоение и изучение данного месторождения.

Большая часть бассейна сложена рыхлыми четвертичными отложениями различного, преимущественно, озерно-аллювиального, озерного и болотного генезиса. Угленосными являются отложения верхнего миоцена неогеновой системы, который представлен оголорской свитой (рисунок 2.5).

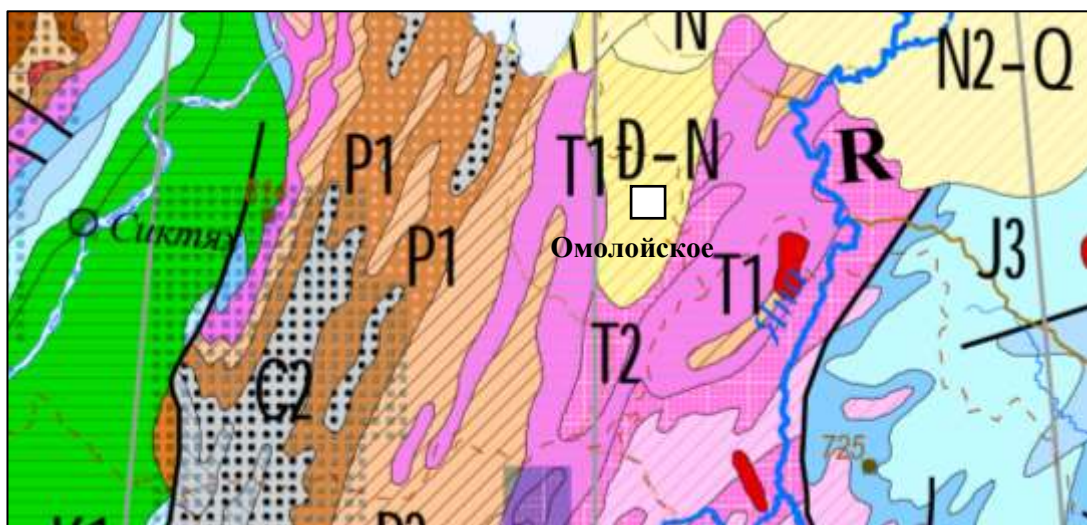


Рисунок 2.5 – Карта-схема расположения Омолойского месторождения
(ГИС-Атлас «Недра России»)

Оголорская свита распространена в западной части района, в бассейне р. Омоя, где она представляет озерные, озерно-аллювиальные и болотные фации миоцена. Наиболее мощные и литологически представительные, но слабо изученные разрезы свиты вскрыты скважинами в низовьях р. Куччугуй-Кюэгюлюр, в верховьях рек Буор-Юрях, Ильдикилях и Батар-Юрях. Свита сложена чередующимися различно окрашенными (преимущественно светло-

серыми) глинами, суглинками и серыми горизонтально-, линзовидно-, волнисто- и косослоистыми тонко- и мелкозернистыми глинистыми песками, насыщенными лигнитизированными растительными остатками и переслаивающимися с пластами и линзами землистых, мягких бурых углей. Мощность буроугольных пластов достигает 30 м. Мощность свиты от 5-10 м до 77 м. В составе отложений оголорской свиты преобладает алеврито-глинистая (46,2 %) и песчаная (40 %) фракции при содержании гальки и гравия менее 2 %. В легкой фракции преобладает кварц (до 83,6 %). Тяжелая фракция состоит из лейкоксена (32 %), сидерита (21,6 %), ильменита (13,6 %) анатаза (9,4 %), турмалина (7,9 %) с цирконом и куларитом. Угли преимущественно высокозольные, низкосернистые. Прогнозные ресурсы бассейна оцениваются в 1,85 млн. тонн [16].

2.5 Каякское месторождение

Месторождение относится к Маймеча-Котуйскому угленосному району Тунгусского бассейна. Угленосная формация месторождения представлена верхней частью котуйской и потокойской свит общей мощностью 280 метров (верхний и нижний отделы перми). Котуйская свита (нижний отдел) представлена мелко- и средне-, реже крупнозернистыми преимущественно полимиктовыми песчаниками и пачками тонкого переслаивания мелко- и крупнозернистых алевролитов. На ней с размывом и незначительным угловым несогласием залегают туфогенные песчаники, туфы и туффиты правобоярской свиты мощностью до 130 метров. Потокойская свита (верхний отдел) – главный продуктивный горизонт района, залегают с резким контактом и неглубоким размывом на отложениях ранней перми и перекрывается осадочно-вулканогенными и туфолавовыми образованиями правобоярской и арыджанской свит раннего триаса [15].

Разрывные нарушения представлены преимущественно сбросами с крутым падением сместителей на северо-запад и амплитудой обычно в пределах первых десятков метров. С ними связаны резкие, но локальные изменения залегания угленосных отложений: изгиб и пloyчатая перемятость слоев вблизи сместителей, перекося отдельных блоков с увеличением углов падения до 30-60°, образование мелких складок, вплоть до изоклинальных запрокинутых и лежащих, шириной до 10-20 метров.

В целом, Маймеча-Котуйский район является относительно низкоугленосным. Наиболее богатым является Каякское месторождение, которое разрабатывалось шахтой «Котуй» (рисунок 2.6).

Шахта «Котуй» — угледобывающее предприятие в п. Каяк (Хатангский район, Красноярский край, РФ). Входила в трест «Арктикуголь», ПО «Красноярскуголь», Красноярскую угольную компанию. Закрыта в 2009 году в связи с отработкой запасов [50]. Район экономически не освоен. Длина участка – 1.65 км, ширина – 0.84 км, площадь – 1.38 км² [44].

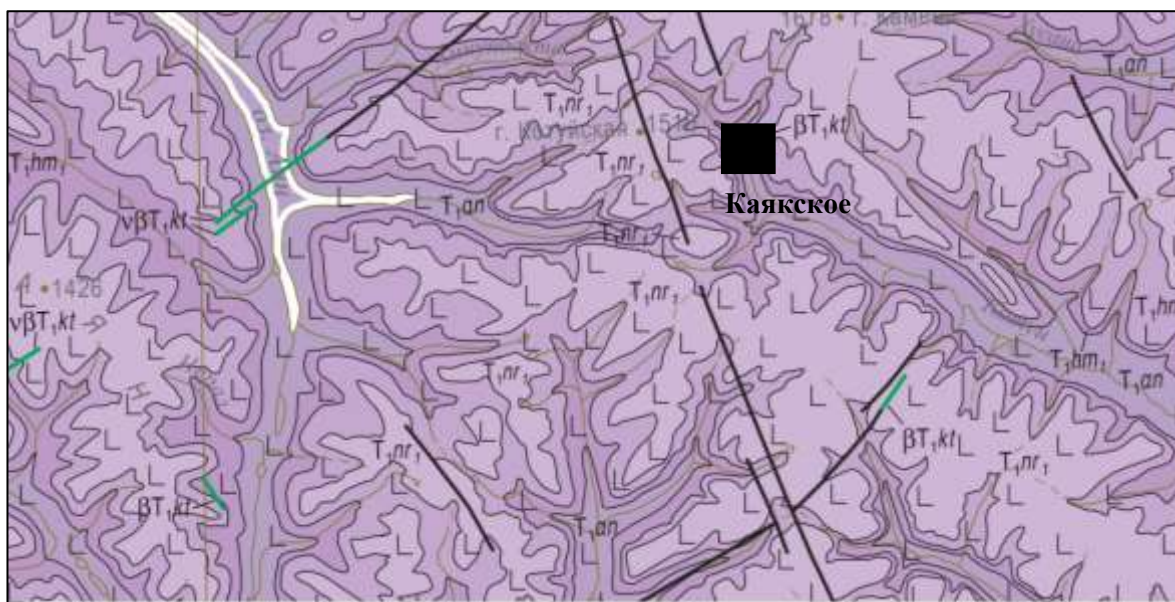


Рисунок 2.6 – Карта-схема расположения Каякского месторождения (ГИС-Атлас «Недра России»)

Шахта построена в 1947 году. Разрабатывала Каякское месторождение, расположенное на берегу р. Котуй. Добыча угля составляла около 40 тыс. тонн в год. Шахта «Котуй» разрабатывала в условиях многолетней мерзлоты пласт средней мощностью 0,9 м. Глубина разработки около 63 м. Шахтное поле вскрыто штольнями с берега реки Котуй. Шахта не газовая, уникальна и тем, что в ней всегда -15°C , при такой температуре исключено гниение дерева — послевоенная крепь служила до самого закрытия [44].

Угли месторождения относятся преимущественно к гумолитам. В микрокомпонентном составе преобладают мацералы группы липтинита.

По степени метаморфизма угли относятся к длиннопламенным и газовым термального ряда. Добывались угли марки Д. В большинстве своем они малозольные (4-10 %), низкосернистые (0,3-0,7 %), с высокой механической прочностью. Зола углей – легко- и среднеплавкая, с повышенным содержанием окислов [15].

Общие запасы месторождения по всем категориям составляют около 11 млн тонн [15].

2.6 Кайерканское месторождение

Кайерканское месторождение находится в 23 км к западу от г. Норильска. На его территории построен г. Кайеркан, проходит железная и шоссейная дороги Норильск – Дудинка. Месторождение расположено в пределах восточного борта Вологочанской мульды, длина его в меридиональном направлении, по простиранию, около 25 км, средняя ширина – 2 км, площадь 50 км² (рисунок 2.7). Угленосные отложения тунгусской серии (C₂-P₂) слагают пологое (5-12°) западное крыло Кайерканской антиклинали, осложненное сбросами преимущественно северо-западного, реже северо-восточного и субширотного простирания амплитудой от долей метра до 200 метров. В восточной части месторождения они перекрыты четвертичными, на западе – пермскими и триасовыми туфолавыми образованиями. По сложности геологического строения месторождение относится ко 2 группе [1, 15].

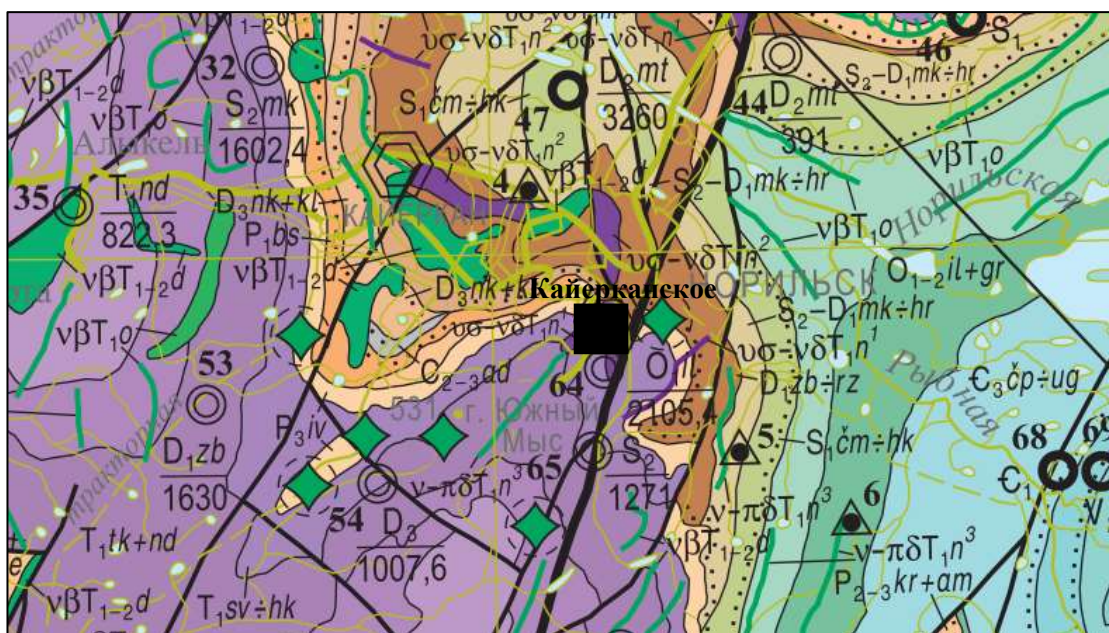


Рисунок 2.7 – Карта-схема расположения Кайерканского месторождения (ГИС-Атлас «Недра России»)

Угленосными являются отложения перми верхнего и нижнего отдела, которые представлены тремя свитами: далдыканской, шмидтинской и

кайерканской. Основные запасы сосредоточены в кайерканской свите. Свита отделена поверхностями размыва от подстилающих и перерывающих образований и развита на всей территории распространения тунгусской серии. Представлена разномеристыми, от алевроитовых до грубозернистых, полимиктовыми песчаниками (около 60 % общего объема), которым подчинены линзы псефитов до 2 метров мощности, углистыми породами, углями, алевролитами и аргиллитами [1,15].

Дизъюнктивные нарушения, разбивающие угленосную толщу на отдельные блоки, представлены преимущественно сбросами, реже взбросами. Простираение их субмеридиональное и северо-восточное. Вблизи дизъюнктивов нередко отмечается резкое изменение залегания слоев, вплоть до их запрокидывания, образование мелких приразломных складок, плейчатость, дробление, повышенная трещиноватость пород и зеркала скольжения [1,15].

По состоянию на 1998 год общие запасы углей месторождения составляют 932,5 млн тонн. Угли марок СС(ЗСС) и Т(1Т) преимущественно среднезольные, труднообогатимые до концентрата с зольностью <10 %. За счет карбонатов в минеральном составе зола углей обогащена окислами щелочноземельных минералов. Температура плавления золы варьируется от 1200 до 1300 °С.

Кайерканское каменноугольное месторождение было открыто в 1940 году. Детально разведывалось в течение 1940-1957 года. Разработка Кайерканского угольного разреза №1 (КУР-1) началась с 1957 года. В 1962-1964 годах была выполнена доразведка второго угольного разреза (КУР-2). С переходом Норильского комбината на газообразное топливо старые угольные шахты были ликвидированы, добыча угля с 1970 г. ведется только на КУР-2 [49]. В этом карьере кроме угля добывают флюсовый песчаник. До 1959 года потребности металлургических предприятий комбината во флюсовом песчанике удовлетворялись месторождениями горы Рудная, но из-за ухудшения горно-геологических условий эксплуатация этого месторождения

стала невозможной. Возникла потребность в поиске новых месторождений данного сырья. Поле карьера на южном фланге Кайерканского месторождения. Это месторождение имеет 5 угольных пластов, из которых первые три отрабатываются. Залежи флюсовых песчаников имеют мощность от 3 до 14 метров. В настоящее время рудником «Кайерканский» разрабатывается Каларгонское месторождение известняка и Кайерканское каменноугольное месторождение в районе Кайеркана, Горозубовское месторождение ангидрита в Норильске и месторождение базальтов в Талнахе. Состоит из двух шахт («Ангидрит», «Известняки») и двух карьеров («Скальный», «Кайерканский»). Добыча ископаемых ведется и открытым, и закрытым (шахтным) способами [50].

Рудник «Кайерканский» занимает одно из ключевых мест в технологической цепочке основного производства, снабжая все подразделения Заполярного филиала ГМК «Норильский никель» флюсовым песчаником, известняком, доломитом и каменным углем.

В 2012 г. в отработанных камерах шахты «Ангидрит» рудника «Кайерканский» был построен учебный полигон для подготовки работников ГМК «Норильский никель» – машинистов погрузочно-доставочных машин и самоходных буровых установок. Тогда же в шахте была запущена в эксплуатацию система микросотовой связи, в зону мобильного покрытия которой входят все наземные и основные подземные объекты предприятия. По статистике на 2012 г. на руднике работали 719 человек [49].

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

Методика исследований, проведенных в рамках данной работы включает в себя опробование, пробоподготовку, лабораторные исследования, аналитические исследования и анализ полученных данных.

3.1 Методика опробования

В своем большинстве опробование проводилось керновым и штуфным способами.

Керновый отбор производится по угольным пластам и окружающим их вмещающим горным породам как висячего, так и лежащего боков.

Длина пробы зависит от мощности угольного пласта и составляет в среднем 1,0 м. При меньшей мощности угольного пласта длина пробы будет соответственно меньше. Минимальная длина пробы по керну обычно не бывает менее 25 см.

При возможности выделения в составе тела разных угольных пластов опробование производится по интервалам, соответствующим участкам угольного пласта, то есть секционными пробами. Вмещающие породы лежащего и висячего боков опробуются самостоятельными пробами длиной, обеспечивающей ограничение контура угольного пласта.

Схема отбора проб вырабатывается на основании визуального изучения разреза и результатов минералого-химических исследований по ранее опробованным интервалам этого рудного тела или аналогичных рудных тел изучаемого месторождения.

В пробу по керну отбирается половина столбика керна, раскалываемого пополам вдоль длинной оси с таким расчётом, чтобы в неё вошла зеркальная половина керна. Раскалывание керна производится с помощью ручного или механического прибора, называемого керноотборником.

Опробование проводилось по тем же интервалам, которые использовались для отбора технологических проб (дублировали их).

Штуфной метод опробования заключается в поверхностном отборе материала. Применяется при изучении коренных (дочетвертичных) отложений с неустановленным оруденением, при отборе образцов горных пород для изучения их химического, минерального состава. В результате опробования были получены 201 проба угля.

3.2 Методика пробоподготовки

Работы по определению зольности и влажности выполнены в ПНИЛ по комплексному использованию горючих полезных ископаемых Западной Сибири кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ) по ГОСТ 11022-95 (заведующий лабораторией к.х.н. С.Г. Маслов). Зола, оставшаяся после сжигания угля или кокса, образуется из неорганических соединений, входящих в состав угольного вещества, и из присутствующих минеральных примесей. Сущность метода состоит в том, что пробу угля сжигают в муфельной печи, нагреваемой с определенной скоростью до температуры (800 ± 15 °С), и выдерживают при этой температуре до постоянной массы. Зольность в процентах рассчитывают по массе остатка после прокаливания.

Пробоподготовка для последующих анализов проходила в 2 этапа, и осуществлялась по стандартной методике [6]. На первом этапе отобранные пробы были раздроблены механическим путем. На втором этапе материал был развешен, упакован в конверты из фольги и подготовлен для ИНАА.

Первый этап. Полученные пробы представляли собой материал угля в различной степени раздробленный, разных размеров и разной твердости. Для проведения дальнейший этапов исследования материал необходимо было привести в измельченное состояние. Для осуществления этого были выбраны 2 распространённых способа – ручное измельчение и измельчение на щековой дробилке.

Измельчение в ступке. В ступку высыпается материал пробы, обязательным является попутная регистрация данных (№ пробы), и измельчается механическим воздействием. Измельчение на щековой дробилке принципиально отличается лишь тем, что работу выполняет машина, а не человек.

Истирание на аппарате МВИ 3000 (рисунок 3.1) представляет собой следующий процесс: 4 небольшие ступки заполняются материалом (1 ступка – 1 проба) (с сопутствующей фиксацией информации) после чего помещаются в микровиброистиратель. После выставления заданного времени истиратель запускается. В процессе работы материал измельчается до размера 200 меш (71-74 микрон). Проверив качество истирания материал проб упаковывается в конверты для дальнейшей пробоподготовки.

Второй этап. Заключается в развеске проб и окончательной подготовки к ИНАА. Для проведения этого анализа необходимо около 200 мг материала, упакованного в подписанные (с № пробы) конверты из фольги.



Рисунок 3.1 – Микровиброистиратель

3.3 Методика аналитических исследований

В качестве основного анализа был выбран инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА). Данный анализ значительно выигрывает у остальных в плане изучения элементного состава углей, т.к. является наиболее точным, простым и наименее затратным, к тому же отсутствует привнос элементов, вследствие ненужности предварительной химической обработки. Недостатком данного вида анализа является его сравнительно долгая продолжительность – около месяца [10,12].

Суть ИНАА заключается в определении элементов по гамма-лучам, испускаемым радиоактивными ядрами, образовавшимися при облучении исследуемого образца в нейтронном потоке. Образцы весом от 10 до 100 мг и мониторы нейтронного потока (обычно металлические железо и цирконий) запаиваются в ампулы из сверхчистого кварца и облучаются в течение от нескольких часов до нескольких дней в потоке тепловых нейтронов.

Первое измерение производится не ранее, чем через 5 часов, но не позднее, чем через 3 дня после окончания облучения. Спектры гамма-лучей измеряются с помощью полупроводникового планарного детектора из сверхчистого германия GPL 32355/10P фирмы "ORTEC" в энергетическом диапазоне 40 -1800 кэВ с разрешением 0,7 кэВ при энергии 122 кэВ. В этом измерении определяются в основном Na, As, Br, Sb, U.

Второе измерение проводится обычно через 8 дней после облучения. Здесь используется коаксиальный детектор из сверхчистого германия фирмы "PGT". Эффективность детектора – 25 %, энергетическое разрешение – 1,7 кэВ при энергии 1333 кэВ. Во втором измерении определяются Na, Cr, Fe, As, Br, Rb, Sb, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th и U.

Третье измерение проводится спустя 20 – 25 дней после облучения с тем же детектором, что и во втором измерении. Здесь определяется содержание Sc, Fe, Co, Sr, Sb, Cs, Ce, Eu, Tb, Yb, Hf, Ta.

Обработка измеренных спектров проводится с помощью ряда компьютерных программ, разработанных в Петербургском институте ядерной физики. Алгоритмы обработки основаны на использовании априорной информации о спектрах и ограничениях на возможное содержание элементов в образцах. При вычислении концентрации любого элемента принимаются во внимание все надежно установленные в измеренном спектре пики всех изотопов этого элемента. Окончательно содержание элементов в образце проверяется по стандартам состава вещества (ССВ), таким как 1633А, VCR и др. Результаты анализа ССВ обычно находятся в хорошем согласии с табличными данными, т.е. согласуются в пределах погрешности измерений.

Чувствительность измерений находится на уровне 0.1 % для основных элементов на уровне г/т и даже мг/т для некоторых, из определяемых микроэлементов. Обычно погрешность определения составляет 5 - 15 % [46].

Работы проводились на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т института ядерной физики в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета (заведующий лабораторией с.н.с. Судыко А.Ф.). Лаборатория аттестована Госстандартом РФ, свидетельство об аттестации N РОСС RU. 0001.516338. Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла $2 \cdot 10^{13}$ нейтр./((см² с). Продолжительность облучения составляла 20 часов. Измерение короткоживущих изотопов производилось через неделю, а долгоживущих – через 20 суток выдержки, на авто-гамма-спектрометре (АГС). Пределы определения элементов вышеуказанным методом приведены в таблице 3.1 [47]. В качестве стандартного образца состава использовались ГСО ЗУК-1 и ЗУК-2.

Таблица 3.1 – Пределы определения содержаний элементов в углях, золе угля и углистых породах методом ИНАА [47]

Элемент	Предел, г/т	Элемент	Предел, г/т
Na	20	Ba	8
Ca	300	La	0,03

Продолжение таблицы 3.1

Элемент	Предел, г/т	Элемент	Предел, г/т
Sc	0,02	Ce	0,05
Cr	0,2	Sm	0,01
Fe	100	Eu	0,01
Co	0,1	Tb	0,05
Ni	20	Yb	0,1
Zn	2	Lu	0,01
Rb	0,6	Hf	0,01
As	1	Ta	0,05
Sr	7	Au	0,01
Ag	0,5	Th	0,2
Cs	0,3	U	0,1
Sb	0,2	Br	0,3

3.4 Анализ полученных данных

Данные результатов анализов заносились в базу данных. Затем они обрабатывались в электронных таблицах «EXCEL», с применением модуля анализа данных, в частности, описательной статистики.

Для оценки среднего содержания использовался преимущественно расчёт средневзвешенного по мощности и, где необходимо, по зольности содержания элементов в углях и золах углей по сечениям опробования, применяемый при такого рода исследованиях, что позволяет получить более достоверные оценки средних содержаний в угольных пластах. Используются рекомендации Я.Э.Юдовича [17].

Средневзвешенное содержание определялось по формуле:

$$C_{вз} = \frac{\sum mc}{\sum m} \quad (1)$$

где c – измеренное содержание элемента в пробе,

m – мощность интервала опробования.

Содержание элементов в золах углей рассчитывалось, исходя из измеренных в углях, по формуле:

$$C_z = C_y * (100/A^d) \quad (2)$$

где C_z – содержание в золе,

C_y – содержание в угле,

A^d – зольность.

Кроме того, при обсчете отдельных выборок определялись основные статистические параметры, включая определение среднего арифметического, стандартной ошибки определения среднего, медианы, моды, стандартного отклонения, дисперсии выборки, эксцесса, асимметричности, минимума, максимума, коэффициентов ранговой и парной корреляции.

При расчетах средних, значения анализов ниже предела обнаружения заменялись нулевыми значениями.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. СОДЕРЖАНИЕ ЦЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Результатом работ по исследованию геохимии углей выбранных месторождений являются интерпретированные материалы ИНАА, которые были проанализированы посредством электронных таблиц Excel, описаны и сравнены с основными показателями для угля и его золы (кларка, порога токсичности, минимальных промышленных концентраций). Также был рассчитан кларк концентрации (использовался кларк для углей (Кетрис, Юдович, 2005), коэффициент вариации и несколько важных отношений (Th/U, La/Yb, Cr/UCC).

4.1 Сырадасайское месторождение

На данном месторождении было изучено 42 пробы угля, с которыми выполнен комплекс работ, включающий в себя: инструментальный нейтронно-активационный анализ с предшествующей пробоподготовкой, определением зольности и влажности.

В таблицах 4.1-4.2 представлены результаты исследований углей Сырадасайского месторождения.

Таблица 4.1 – Среднее содержание элементов примесей в углях Сырадасайского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк **
Na	0,18 ±0,02	64,1	0,03	0,48	н/д*
Ca	1,24 ±0,05	27	0,62	2,28	н/д
Sc	7,43 ±0,61	53	2,61	18,2	3,7
Cr	41,4 ±3,57	55,3	8,64	95,7	17
Fe	0,78 ±0,08	64,7	0,24	2,72	н/д
Co	7,51 ±0,78	66,2	1,10	22,2	6
As	7,28 ±1,66	146,3	<1	58,5	9
Br	9,90 ±0,52	33,4	4,55	20,5	6

Продолжение таблицы 4.1

Элементы	Среднее содержание	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк
Rb	12,4 ±1,4	72,1	3,10	42,2	18
Sr	145 ±14	62,1	<7	479,6	100
Sb	0,61 ±0,19	200	0,04	8,01	1
Cs	2,07 ±0,27	84,4	0,19	8,22	1,1
Ba	774,3 ±71,7	59,3	99,72	2205,3	150
La	14,5 ±1,12	49,3	3,69	30,7	11
Ce	33,7 ±2,35	44,8	3,51	66,4	23
Sm	2,37 ±0,16	43,5	0,72	4,89	2,2
Eu	0,58 ±0,05	51,1	0,13	1,37	0,43
Tb	0,43 ±0,04	53	0,08	1,14	0,31
Yb	1,4 ±0,1	44,9	0,52	3,22	1
Lu	0,20 ±0,02	50,4	0,06	0,54	0,2
Hf	2,28 ±0,19	52,1	0,58	5,78	1,2
Ta	0,52 ±0,05	67,7	0,06	1,58	0,3
Th	4,01 ±0,33	53,2	1,05	11,2	3,2
U	2,25 ±0,17	47,3	0,51	5,20	1,9
Количество проб – 42. Средняя зольность (A ^d) – 24,4					

*н/д – нет данных

** Кларк – кларковое значение для углей (Кетрис, Юдович)

Данные таблицы 4.1 показывают среднее содержание элемента. Также приведен рассчитанный коэффициент вариации, который является стандартизированной мерой дисперсии распределения вероятности. Присутствуют показатели минимальных и максимальных значений, а также, для визуального восприятия контраста – значение кларка. Анализируя полученные данные видно, что разброс минимальных и максимальных содержаний весьма значителен, что доказывает и повышенный коэффициент вариации. Повышенные значения отклонения от среднего значения (разброс) свидетельствуют о различных условиях накопления и формирования угля. В качестве примера приведены значения Sb и As. Причем, если для мышьяка такой разброс более привычен, то ситуация с сурьмой требует отдельного

внимания, максимальные значения которой превышают кларк в 8 раз ($8,01 \gg 1$), а среднее и вовсе ниже кларка ($0,61 < 1$). Также на фоне остальных выделяются аномальные максимальные концентрации Sc, Cr, Ba, Cs и лантаноидов. Причем, если в случае с сурьмой средние значения меньше кларковых, то средние содержания элементов, описанных выше, также превышают кларк (хотя и не так ярко), при относительно невысоких значениях коэффициента вариации для выборки по углю.

Также, используя данные таблицы 4.1, были построены гистограммы, отражающие характер распределения числовых значений содержаний элементов (рисунки 4.1-4.2). Для сравнительного анализа были выбраны по 2 элемента, с максимальными и минимальными значениями коэффициента вариации. Для данного месторождения ими являются As, Sb, Br, Ca.

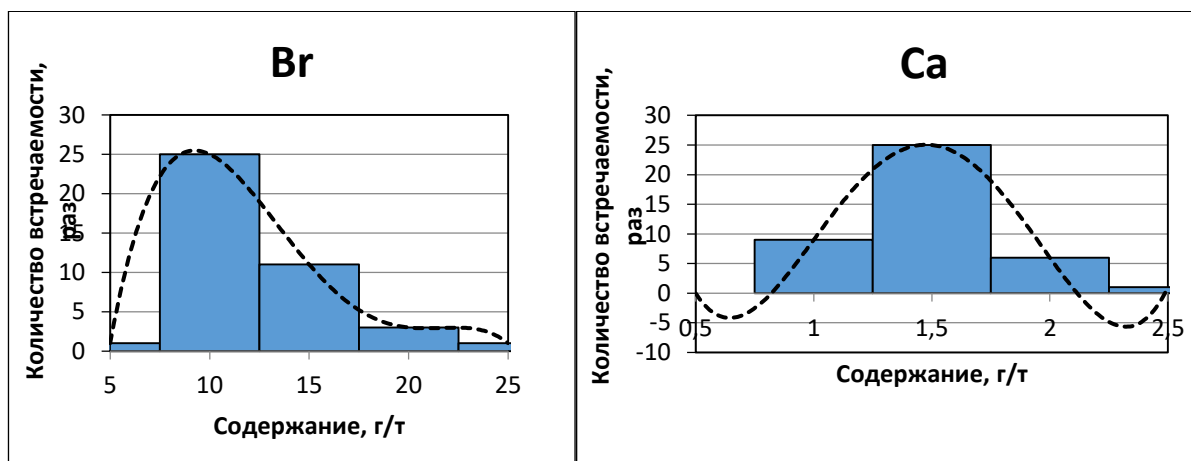


Рисунок 4.1 – Гистограммы нормального распределения содержания Br и Ca

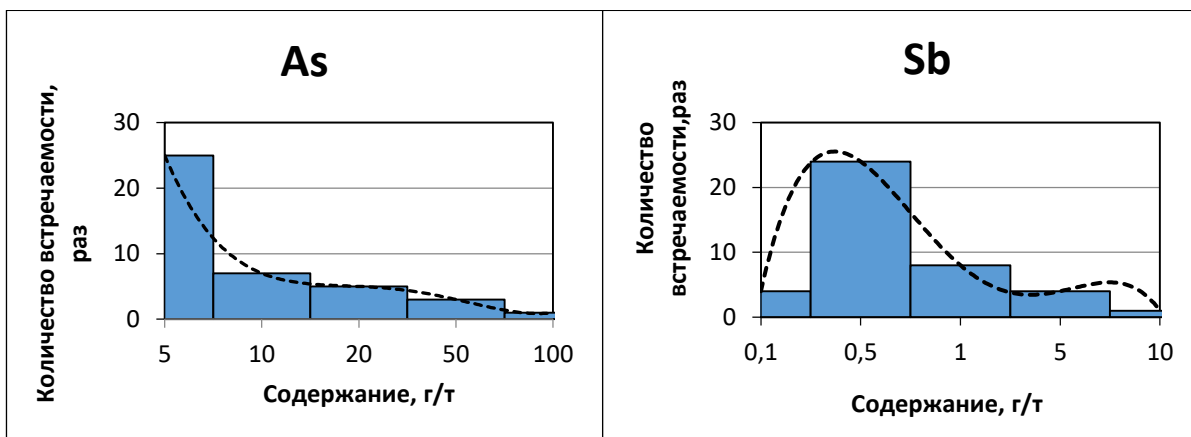


Рисунок 4.2 – Гистограммы логнормального распределения содержания As и

Sb

По гистограммам выше отчётливо видна разница между нормальным и логнормальным распределением числовых значений. Основными показателями здесь являются разброс числовых данных, разница между минимальными и максимальными значениями, а также количество встречаемости. Так, значения содержаний кальция меняются в пределах от 0,5 до 2,5 г/т, при этом наибольшее количество раз встречаемости сосредоточено в средних значениях – 1,5 г/т. В случае с сурьмой – разница между минимальным и максимальным значением существенно больше – 0,1 и 10, что может свидетельствовать о локальной концентрации данного элемента.

Имея данные о зольности углей Сырадасайского месторождения (которые были получены в ходе исследования имеющихся проб), содержания ценных и токсичных элементов-примесей в углях были пересчитаны на содержание в золе. Пересчет производится согласно формуле:

$$C_z = C_y * (100/A^d)$$

где C_z – содержание в золе,

C_y – содержание в угле,

A^d – зольность.

Данные по содержанию в золе представлены далее, в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Среднее содержание элементов-примесей в золах углей Сырадасайского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Na, %	0,75 ±0,08	65,3	0,18	2,0	н/д
Ca, %	5,85 ±0,4	43,9	1,42	12,6	н/д
Sc	30,7 ±1,71	35,8	14,1	65,8	24
Cr	168,1 ±9,92	37,8	30,9	361,1	120
Fe, %	3,36 ±0,34	65,1	1,38	15,2	н/д
Co	31,2 ±2,71	55,5	8,08	87,3	37
As	30,6 ±8,35	174,4	н/д	326,9	46
Br	47,3 ±3,98	53,9	15,9	122,3	32

Продолжение таблицы 4.2

Элементы	Содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Rb	48,5 ±3,02	39,9	19,4	117,7	110
Sr	712,1 ±90	80,9	0,00	2804,8	730
Sb	2,78 ±1,06	245,1	0,24	44,73	7,5
Cs	8,18 ±0,94	73,4	1,44	22,3	8
Ba	3419,2 ±349,6	65,5	721	12315,1	980
La	59,4 ±3,13	33,8	28,0	126,7	76
Ce	139,8 ±7,0	32,1	24,7	274,3	140
Sm	9,86 ±0,44	28,7	4,01	19,2	14
Eu	2,34 ±0,1	27,5	1,27	4,79	2,6
Yb	5,89 ±0,31	33,8	2,58	12,3	2,1
Tb	1,77 ±0,12	41,8	0,83	4,48	6,9
Lu	0,85 ±0,05	37,3	0,39	1,96	1,3
Hf	9,25 ±0,54	37,4	4,98	23,9	9
Ta	2,02 ±0,17	53,2	0,50	6,53	2
Th	16,6 ±1,06	41,1	7,94	46,1	23
U	9,23 ±0,45	31,1	4,38	16,8	15
Количество проб – 42. Средняя зольность (A ^d) – 24,4					

Результаты таблицы 4.2 в целом совпадают с предыдущими. Тенденция повышенных показателей коэффициента вариации у As и Sb сохранилась. Что касается превышений максимальными значениями остальных элементов – они по-прежнему превышают кларковые, но при этом средние содержания в золе не отличаются большими цифрами по сравнению с кларком.

Таблица 4.3 – Результаты расчета кларка концентрации

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	Уголь	Зола	Уголь	Зола	Уголь	Зола
Na, %	0,18	0,75	н/д	н/д	н/д	н/д
Ca, %	1,24	5,85	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	7,43	30,7	3,7	24	2,0	1,3
Cr	41,4	168	17	120	2,4	1,4

Продолжение таблицы 4.3

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	Уголь	Зола	Уголь	Зола	Уголь	Зола
Fe, %	0,78	3,36	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	8,23	31,2	6	37	1,4	0,8
As	7,51	30,6	9	46	0,8	0,7
Br	9,9	47,3	6	32	1,7	1,5
Rb	12,4	48,5	18	110	0,7	0,4
Sr	145	712	100	730	1,4	1,0
Sb	0,61	2,78	1	7,5	0,6	0,4
Cs	2,07	8,18	1,1	8	1,9	1,0
Ba	774	3419	150	980	5,2	3,5
La	14,5	59,4	11	76	1,3	0,8
Ce	33,7	139,8	23	140	1,5	1,0
Sm	2,37	9,86	2,2	14	1,1	0,7
Eu	0,58	2,34	0,43	2,6	1,3	0,9
Tb	0,43	1,77	0,31	2,1	1,4	0,8
Yb	1,40	5,89	1	6,9	1,4	0,9
Lu	0,20	0,85	0,2	1,3	1,0	0,7
Hf	2,28	9,25	1,2	9	1,9	1,0
Ta	0,52	2,02	0,3	2	1,7	1,0
Th	4,01	16,6	3,2	23	1,3	0,7
U	2,25	9,23	1,9	15	1,2	0,6
Количество проб – 42. Средняя зольность (A ^d) – 24,4						

*Примечание: н/д – нет данных

По данным таблицы 4.3 наглядно видно, какие из элементов имеют наибольшие концентрации (показатель кларка концентрации >1 свидетельствует о превышении средними значениями кларка). Сильнее остальных выделяются значения Sr, которые превышают кларковые в угле (в 5 раз) и в золе угля (в 3,5 раза). Стоит отметить, что среди широкого перечня элементов, их содержание в угле лишь в 3 случаях не превышают кларк (As, Rb, Sb). Содержание в золе демонстрирует нам иную картину, здесь кларк концентрации >1 лишь в 7 случаях. Причем, в основном, незначительно. Для

визуального представления информации сделан график, отражающий показатели кларка концентрации (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – График показателей кларка концентрации на Сырадасайском месторождении

Далее, в таблице 4.4, средние содержания элементов-примесей в углях Сырадасайского месторождения сравниваются с показателями порога токсичности и минимальными содержаниями элементов, определяющих возможную промышленную значимость углей (далее, мин. пром. знач.).

Таблица 4.4 – Сравнение среднего содержания элементов в углях с показателями порога токсичности и минимальными промышленными значениями

Элемент	Среднее содержание	Порог токсичности, г/т	Мин. пром. знач, г/т
Sc	7,4	н/д	10
Cr	41,4	100	1400
Co	8,2	100	20
As	7,5	300	н/д
Rb	12,4	н/д	35
Sr	145	н/д	400
Sb	0,61	6	30
Cs	2,1	н/д	30

*Примечание: н/д – нет данных

По данным таблицы 4.4 можно говорить о недостаточных для промышленной отработки содержаниях элементов. Наиболее близкими к промышленным значениям являются содержания Sc, Co и Rb. Порог токсичности не превышает не один из элементов, что свидетельствует о «экологической чистоте» данных углей.

На рисунке 4.4 представлен график отношения содержания элементов в углях Сырадасайского месторождения к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) по (Тейлор, Мак Леннон, 1988).

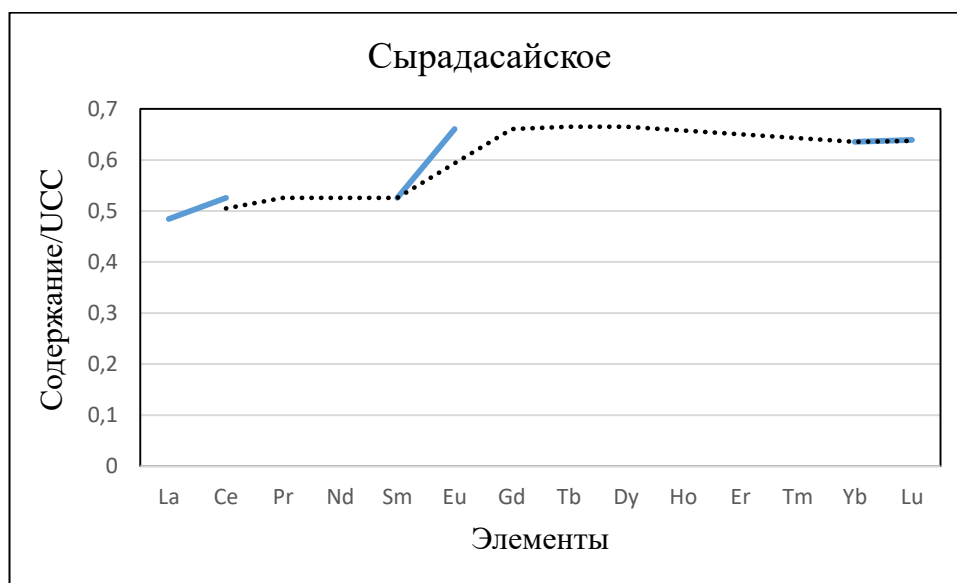


Рисунок 4.4 – График отношения содержания элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14]

Из графика следует, что при низком среднем содержании всех лантаноидов в углях Омолойского месторождения, накопление средних и тяжелых лантаноидов происходило более активно, чем легких. Это позволяет предполагать гидрогенный механизм накопления их в углях.

Сырадасайское месторождение относится к Таймырскому угольному бассейну. Ближайшим разрабатываемым к нему объектом является Лемберовское месторождение угля. Далее представлена таблица 4.5, в которой приведены данные по содержанию ценных и токсичных элементов-примесей в углях этого месторождения. Данные показатели сопоставляются с аналогичными для Сырадасайского месторождения.

Таблица 4.5 – Средние и максимальные содержания элементов-примесей на Лемберовском и Сырадасайском месторождениях

Элементы	Лемберовское		Сырадасайское	
	Среднее содержание, г/т	Максимум, г/т	Среднее содержание, г/т	Максимум, г/т
Na	0,15	0,23	0,18	0,48
Ca	1,09	2,00	1,24	2,28
Sc	4,31	11,8	7,43	18,2
Cr	36,7	52,4	41,4	95,7
Fe	1,22	2,31	0,78	2,72
Co	4,89	12,8	8,23	22,2
As	10,8	31,1	7,51	58,5
Br	15,8	26,1	9,9	20,5
Rb	12,6	38,3	12,4	42,2
Sr	213	376	145	480
Sb	1,18	3,40	0,61	8,01
Cs	0,90	2,64	2,07	8,22
Ba	3514	4897	774	2205
La	10,2	25,4	14,5	30,7
Ce	24,3	59,6	33,7	66,4
Sm	2,56	7,46	2,37	4,89
Eu	0,58	1,86	0,58	1,37
Tb	0,44	1,42	0,43	1,14
Yb	1,00	2,88	1,40	3,22
Lu	0,14	0,38	0,20	0,54
Hf	0,85	1,75	2,28	5,78
Ta	0,13	0,38	0,52	1,58
Th	1,62	3,30	4,01	11,2
U	1,51	3,78	2,25	5,20

Территориальная близость этих двух месторождений обуславливает общую схожесть данных. Но все же, стоит отметить, что широкий спектр элементов (Sc, Cr, Co, Cs, легкие лантаноиды (La, Ce), Hf, Ta, Th, U) на Сырадасайском месторождении содержатся в больших количествах, нежели на Лемберовском. Обусловлено это принадлежностью Лемберовского месторождения к территории интенсивного контактового метаморфизма, результатом которого является общий вынос элементов.

Наиболее отличающимися являются содержания бария и брома. На существенную разницу в накоплении этих элементов мог повлиять фактор более близкого расположения Лемберовского месторождения к морю, что влияет на источник питания углей. И барий, и бром являются маркерами именно морского типа питания [25].

4.2 Жиганское месторождение

При изучении геохимии углей Жиганского месторождения, использовались данные по одной пробе. Следует отметить, что данное месторождение является одним из самых изученных среди исследуемых в данной диссертации. Однако, полученные ранее результаты требуют проверки, поэтому в этой работе они не рассматриваются. Согласно ранее выполненным работам, угли Жиганского месторождения аномально обогащены лантаноидами, торием и скандием [7].

В целом же, при анализе полученных данных использовались те же механизмы и критерии, что и для Сырадасайского месторождения.

Далее, в таблицах 4.6 и 4.7 представлены результаты исследований углей Жиганского месторождения.

Таблица 4.6 – Средние содержания, результаты расчета кларка концентрации

Элементы	Содержание, г/т	Содержание в золе, г/т	Кларк уголь, г/т	Кларк зола, г/т	Кларк концентрации (уголь)	Кларк концентрации (зола)
Ca, %	1,5	9,74	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	7	45,4	3,7	24	1,89	1,89
Cr	147	957	17	120	8,67	7,98
Fe, %	0,48	3,12	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	6,1	39,6	6	37	1,02	1,07
Sr	1160	7533	100	730	11,6	10,3
Ba	550	3571	150	980	3,67	3,64
La	31,9	207,1	11	76	2,90	2,73
Ce	59,9	389,0	23	140	2,60	2,78
Sm	5,6	36,4	2,2	14	2,55	2,60
Eu	1,5	9,74	0,43	2,6	3,49	3,75
Tb	1,1	7,14	0,31	2,1	3,55	3,40
Yb	2,9	18,8	1	6,9	2,90	2,72
Lu	0,36	2,34	0,2	1,3	1,80	1,80
Hf	2,0	13,0	1,2	9	1,67	1,44
Th	32,0	207,8	3,2	23	10,0	9,03
U	1,5	9,74	1,9	15	0,79	0,65
Количество проб - 1; $A^d = 15,4$						

*Примечание: н/д – нет данных

Анализируя результаты исследования, представленные в таблице 4.6, следует, в первую очередь, обратить внимание, что в расчетах принимали участие данные лишь по одной пробе, что в целом не гарантирует подлинности информации, но тем не менее, в рамках данной работы эти результаты учтены и рассмотрены. По данным таблицы видно, что содержания большинства из элементов превышают кларковые, исключением является уран. При этом, ряд элементов превышает кларк в несколько раз (Cr, Sr, Th). Примечательным является выдержанность значений кларка концентрации с переходом с угля на золу углей. Выделяются и значительные превышения кларка группой лантаноидов. Возможные причины столь высоких содержаний ценных элементов-примесей описаны в следующей главе.

Таблица 4.7 – Сравнение среднего содержания элементов в углях с показателями порога токсичности и минимальными промышленными значениями

Элемент	Среднее содержание	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач, г/т.
Sc	7	н/д	10
Cr	147,4	100	1400
Co	6,1	100	20
Sr	1160	н/д	400

*Примечание: н/д – нет данных

Исходя из данных таблицы 4.7, следует что содержание хрома является опасным, превышая порог токсичности, что, в свою очередь, делает исследуемые угли экологически опасными. При отработки таких углей следует учитывать особенности поведения хрома в данной среде и обезопасить природу и человека от возможных негативных последствий (как при добыче, так и при использовании этих углей). Так же особо выделяется стронций, содержание которого превышает минимальное промышленное значение почти в 3 раза, что само по себе привлекает внимание и требует более детального изучения. Содержание скандия близко к промышленному.

Визуальное представление результатов расчета кларка концентрации представлено далее, на рисунке 4.5.

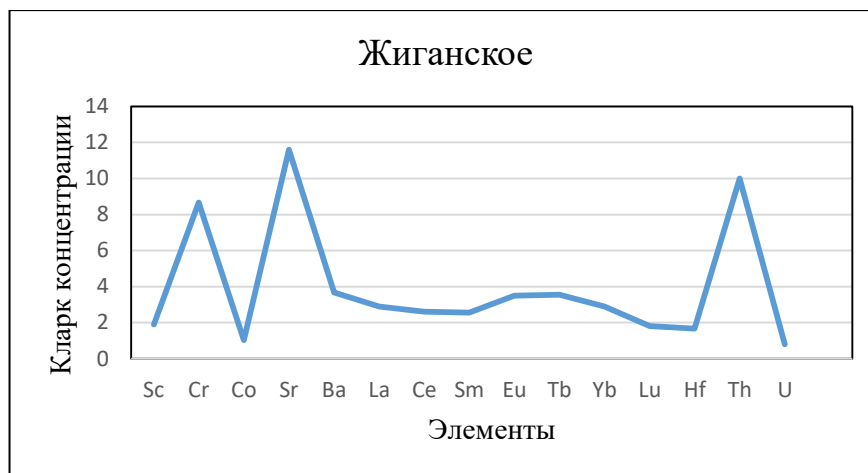


Рисунок 4.5 – График показателей кларка концентрации на Жиганском месторождении

Далее, на рисунке 4.6 представлен график отношения содержаний элементов в углях Жиганского месторождения к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС) по [14].

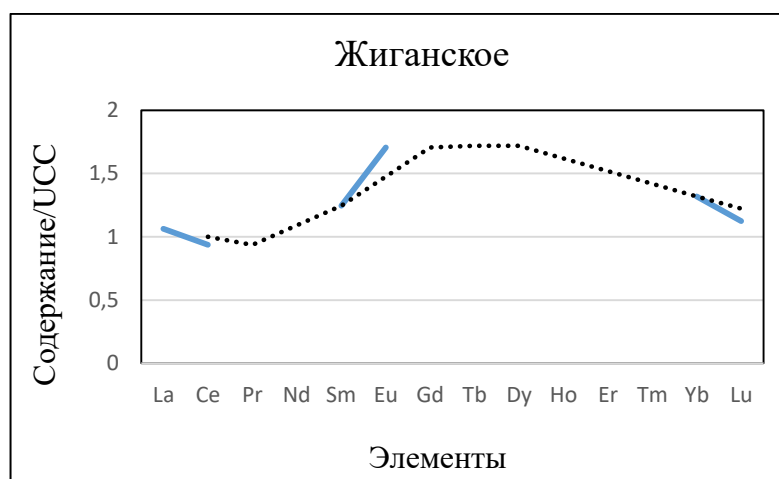


Рисунок 4.6 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС) [14]

По данным графика видно, что легкие и тяжелые лантаноиды накапливались здесь в меньшей степени, нежели средние.

4.3 Фандюшинское поле

Австралийская компания «Tigger's Coal Limited» несколько лет назад приобрела права на разработку «Фандюшкинского поля». Месторождение разрабатывается отечественной компанией «Берингпромуголь» с 2016 года. Стоит отметить, что добывающая компания не учитывает возможность комплексной отработки, с попутным извлечением ценных элементов-примесей. Результаты исследований, представленные далее, в целом оправдывают это.

Далее, в таблицах 4.8 и 4.9 представлены результаты исследований для месторождения Фандюшкинское поле.

Таблица 4.8 – Среднее содержание элементов-примесей в углях месторождения Фандюшкинское поле. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум, г/т	Максимум, г/т	Кларк, г/т
Na, %	0,01	174,3	<20	0,13	н/д
Ca, %	0,98	162,3	0,07	14,3	н/д
Sc	3,25	149,5	0,31	19,9	3,7
Cr	10,1	72,8	3,72	42,4	17
Fe, %	0,52	80,9	0,02	2,75	н/д
Co	10,4	65,4	2,25	23,4	6
As	0,28	164,8	<1	3,61	9
Br	0,61	69,2	<0,3	1,70	6
Rb	0,83	229,2	<0,6	17,4	18
Sr	88,6	171,3	<7	1858	100
Sb	0,32	63,3	0,14	1,57	1
Cs	0,08	265,9	<0,3	2,12	1,1
Ba	19,3	166,5	<8	211,1	150
La	6,09	131,6	0,15	42,5	11
Ce	14,4	115,1	1,2	77,3	23
Sm	1,62	139,3	0	13,0	2,2
Eu	0,40	167,9	0,02	3,58	0,43
Tb	0,36	142,3	0,03	2,48	0,31

Продолжение таблицы 4.8

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум, г/т	Максимум, г/т	Кларк, г/т
Yb	1,52	126,0	0,21	9,46	1
Lu	0,21	131,4	0,02	1,38	0,2
Hf	1,56	144,0	0,08	17,3	1,2
Ta	0,20	205,3	<0,1	5,32	0,3
Th	1,03	143,6	0,07	14,7	3,2
U	0,35	182,9	<0,1	4,68	1,9
Количество проб – 120					

*Примечание: н/д – нет данных

По данным таблицы 4.8 можно сделать ряд выводов. Для выборки характерны повышенные значения коэффициента вариации, наиболее яркие у Rb и Cs. Средние (а иногда и максимальные) значения большинства из элементов не превышают кларковые.

Также, используя данные таблицы 4.8, были построены гистограммы, отражающие характер распределения числовых значений содержаний элементов (рисунки 4.7 и 4.8). Для сравнительного анализа были выбраны по 2 элемента, с максимальными и минимальными значениями коэффициента вариации. Для данного месторождения ими являются Rb, Cs, Br, Co.

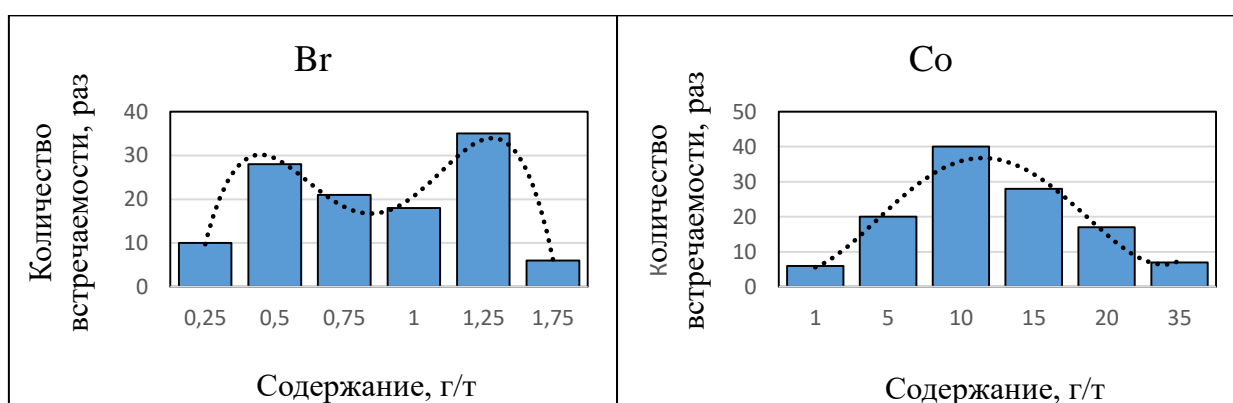


Рисунок 4.7 – Гистограммы распределения содержания Br и Co

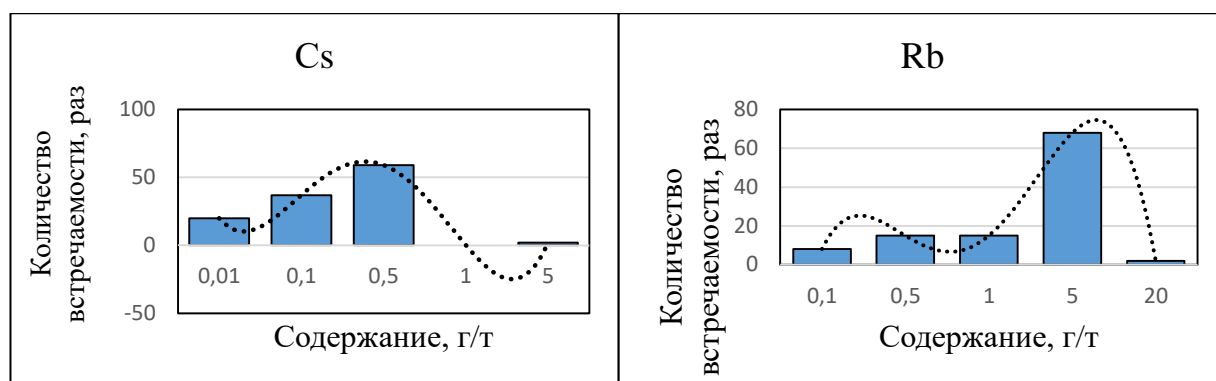


Рисунок 4.8 – Гистограммы логнормального распределения содержания Cs и Rb

Далее представлены результаты расчета кларка концентрации и сравнение средних содержаний с мин.пром.значением и порогом токсичности.

Таблица 4.9 – Результаты расчёта кларка концентрации, сравнение с показателями порога токсичности и минимальных промышленных значений

Элементы	Среднее содержание, г/т.	Кларк, г/т.	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач, г/т.	Кларк концентрации
Na, %	0,01	н/д	н/д	н/д	н/д
Ca, %	0,98	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	3,25	3,7	н/д	10	0,88
Cr	10,1	17	100	1400	0,59
Fe, %	0,52	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	10,4	6	100	20	1,73
As	0,28	9	300	н/д	0,03
Br	0,61	6	н/д	н/д	0,10
Rb	0,83	18	н/д	35	0,05
Sr	88,6	100	н/д	400	0,89
Sb	0,32	1	6	30	0,32
Cs	0,08	1,1	н/д	30	0,07
Ba	19,3	150	н/д	н/д	0,13
La	6,09	11	н/д	н/д	0,55
Ce	14,4	23	н/д	н/д	0,63
Sm	1,62	2,2	н/д	н/д	0,74
Eu	0,40	0,43	н/д	н/д	0,93
Tb	0,36	0,31	н/д	н/д	1,17

Продолжение таблицы 4.9

Элементы	Среднее содержание, г/т.	Кларк, г/т.	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач, г/т.	Кларк концентрации
Yb	1,52	1	н/д	н/д	1,52
Lu	0,21	0,2	н/д	н/д	1,05
Hf	1,56	1,2	н/д	5	1,30
Ta	0,20	0,3	н/д	н/д	0,66
Th	1,03	3,2	н/д	н/д	0,32
U	0,35	1,9	н/д	н/д	0,18
Количество проб - 120					

*Примечание: н/д – нет данных

Таблица 4.9 показывает, что большая доля исследуемых элементов не обладает высокими концентрациями. На фоне остальных выделяется содержание кобальта, превышающее кларковое почти в 2 раза, но тем не менее не дотягивающие до промышленного ($10,4 < 20$). Также стоит отметить превышения кларка тяжелыми лантаноидами, на фоне отсутствия аналогичных превышений у легких, при этом это наиболее яркий случай смещения содержания в сторону тяжелых лантаноидов их всех исследуемых в работе месторождений. Разница в La/Yb отношение это отчетливо показывает.

Далее представлен график, наглядно отражающий рассчитанные показатели кларка концентрации (рисунок 4.9).

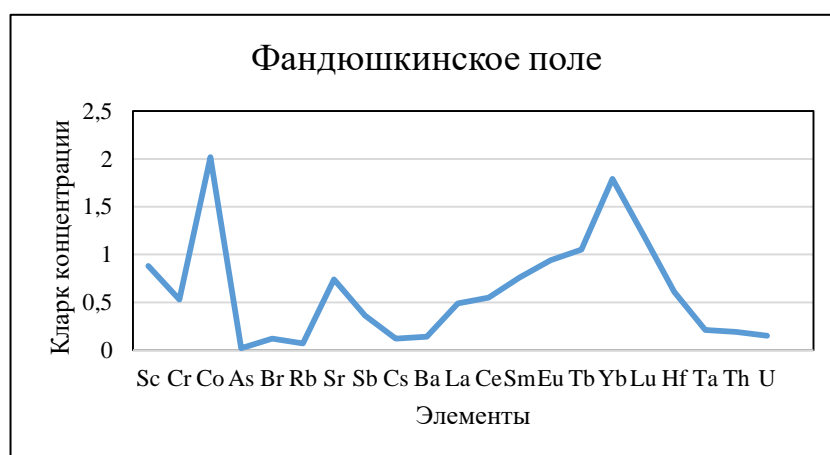


Рисунок 4.9 – График показателей кларка концентрации на месторождении Фандюшкинское поле

Далее, на рисунке 4.10 представлен график отношения содержаний элементов в углях Фандюшкинского месторождения к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС) [14].

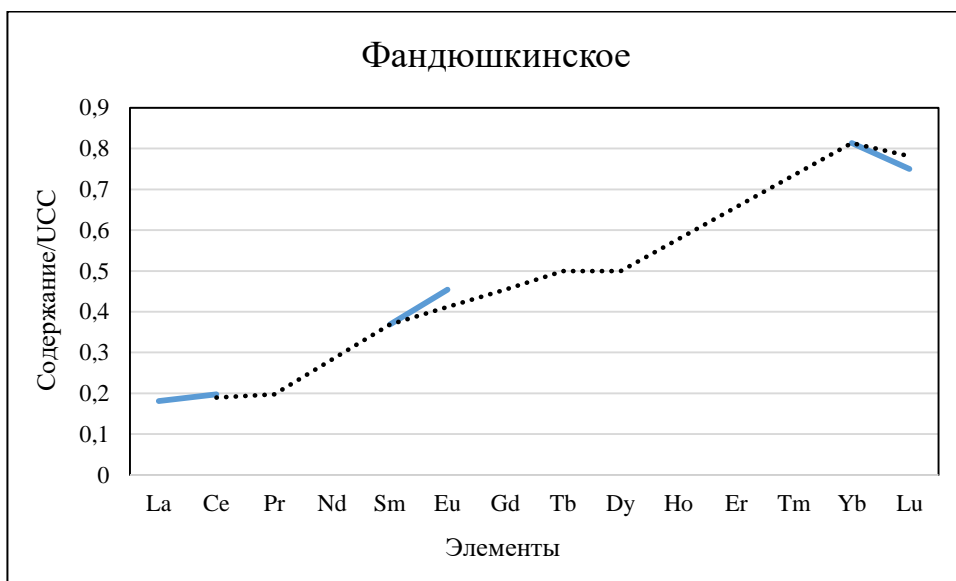


Рисунок 4.10 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (УСС) [14]

Из графика отчетливо видна разница между легкими и тяжелыми лантаноидами. Содержание первых меньше содержаний УСС в 5 раз, тогда как тяжелые лантаноиды очень близки к аналогичным значениям УСС. Такой характер графика указывает на гидрогенную природу накопления лантаноидов в углях [24].

4.4 Омолойское месторождение

Омолойское месторождение является одним из самых слабоизученных не только в рамках данной работы, но и в России в принципе. Отсутствие каких-либо данных по геохимии углей этого месторождения дают возможность впервые дать геохимическую оценку этих углей и попытаться оценить редкометальный потенциал углей, на основе проведенных исследований. Полученные данные, на сегодняшний день, являются наиболее актуальной информацией, даже при условии недостаточного количества проб (22) и отсутствии определения показателей зольности и влажности. Далее, в таблицах 4.10 и 4.11 представлены результаты исследований для Омолойского месторождения.

Таблица 4.10 – Среднее содержание элементов примесей в углях Омолойского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание, г/т.	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Na, %	0,14 ±0,04	121,0	0,02	0,7	н/д
Ca, %	1,56 ±0,16	48,1	0,25	2,8	н/д
Sc	6,19 ±1,10	83,1	0,06	16,6	3,7
Cr	37,3 ±4,64	58,5	12,1	76,3	17
Fe, %	0,92 ±0,11	57,7	0,1	2,6	н/д
Co	8,23 ±0,88	50,3	2,6	15,2	6
As	15,3 ±2,29	70,1	<1	39,1	9
Br	2,45 ±0,36	69,1	<0,3	7	6
Rb	35,4 ±15,4	204,7	<0,6	337	18
Sr	144 ±36,4	118,7	<7	580	100
Sb	0,47 ±0,11	106,3	<0,2	1,6	1
Cs	2,34 ±0,56	112,6	<0,3	7,2	1,1
Ba	244,6 ±53,0	101,8	<8	1210	150
La	9,80 ±1,92	92,1	0,4	26,3	11
Ce	18,3 ±3,07	78,7	1,8	45,1	23
Sm	2,35 ±0,35	69,7	0,15	5,3	2,2
Eu	0,61 ±0,09	67,6	0,06	1,4	0,43

Продолжение таблицы 4.10

Элементы	Среднее содержание, г/т.	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Tb	0,23 ±0,03	68,5	<0,05	0,59	0,31
Yb	1,01 ±0,17	80,3	<0,1	2,7	1
Lu	0,16 ±0,03	86,3	<0,01	0,46	0,2
Hf	2,87 ±0,47	76,5	0,12	6,3	1,2
Ta	0,75 ±0,41	260,9	<0,05	9,3	0,3
Th	3,23 ±0,55	80,5	0,26	7,8	3,2
U	1,98 ±0,38	91,1	<0,1	5	1,9
Количество проб - 22					

*Примечание: н/д – нет данных

Данные таблицы 4.10 отражают среднее содержание элемента с его отклонением в выборке, рассчитанный коэффициент вариации, показатели минимальных и максимальных значений, а также, для визуального восприятия контраста – значение кларка. Анализируя полученные данные в таблице видно, что показатели минимума и максимума, привычно для углей, сильно разнятся, что доказывает и повышенный коэффициент вариации. Повышенные значения отклонения от среднего значения (разброс) свидетельствуют о различных условиях накопления и формирования угля. В качестве примера приведен ряд элементов Rb, Sr, Cs, Ba, Ta значения которых наиболее сильно разнятся и имеют высокий коэффициент вариации. Интерес вызывают максимальные концентрации Rb и Ta, которые, определенно, являются аномальными. Примечательно, что как максимальные, так и средние значения Rb, Sr, Cs, Ba, Ta превышают кларк.

Таблица 4.11 – Результаты расчёта кларка концентрации, сравнение с показателями порога токсичности и минимальных промышленных значений

Элементы	Среднее содержание в угле, г/т.	Кларк, г/т.	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач., г/т.	Кларк концентрации
Na, %	0,14	н/д	н/д	н/д	н/д

Продолжение таблицы 4.10

Элементы	Среднее содержание в угле, г/т.	Кларк, г/т.	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач., г/т.	Кларк концентрации
Ca, %	1,56	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	6,19	3,7	н/д	10	1,67
Cr	37,3	17	100	1400	2,19
Fe, %	0,92	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	8,23	6	100	20	1,37
As	15,3	9	300	н/д	1,70
Br	2,45	6	н/д	н/д	0,41
Rb	35,4	18	н/д	35	1,97
Sr	144	100	н/д	400	1,44
Sb	0,47	1	6	30	0,47
Cs	2,34	1,1	н/д	30	2,13
Ba	244,6	150	н/д	н/д	1,63
La	9,80	11	н/д	н/д	0,89
Ce	18,3	23	н/д	н/д	0,80
Sm	2,35	2,2	н/д	н/д	1,07
Eu	0,61	0,43	н/д	н/д	1,42
Tb	0,23	0,31	н/д	н/д	0,74
Yb	1,01	1	н/д	н/д	1,01
Lu	0,16	0,2	н/д	н/д	0,80
Hf	2,87	1,2	н/д	5	2,39
Ta	0,75	0,3	н/д	н/д	2,50
Th	3,23	3,2	н/д	н/д	1,01
U	1,98	1,9	н/д	н/д	1,04
Количество проб - 22					

*Примечание: н/д – нет данных

Отсутствие данных по зольности, ограничивает анализ геохимии углей данного месторождения, и позволяет сделать лишь поверхностные выводы. Исходя из данных, представленных в таблице 4.10 – целый спектр элементов имеет повышенные содержания в сравнении с кларком (чей кларк концентрации >1). Наибольшие превышения у следующих элементов: Rb, Cs, Hf, Ta. При этом, стоит отметить что содержание одного из них – Rb,

превышает также и минимальное промышленное содержание, а содержание Hf является относительно близким к нему. Порог токсичности не превышает не один из элементов, что говорит о экологической чистоте углей.

Далее представлен график рассчитанных показателей кларка концентрации.

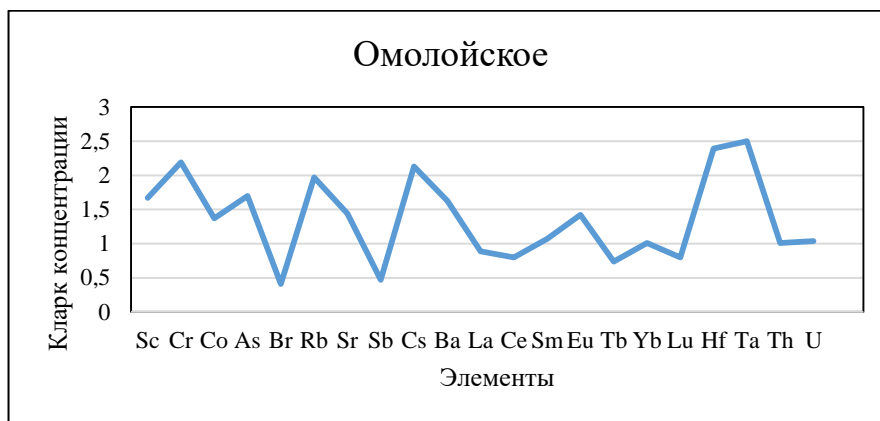


Рисунок 4.11 – График показателей кларка концентрации для Омолойского месторождения

Далее, на рисунке 4.12 представлен график отношения содержаний элементов в углях Омолойского месторождения к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14].

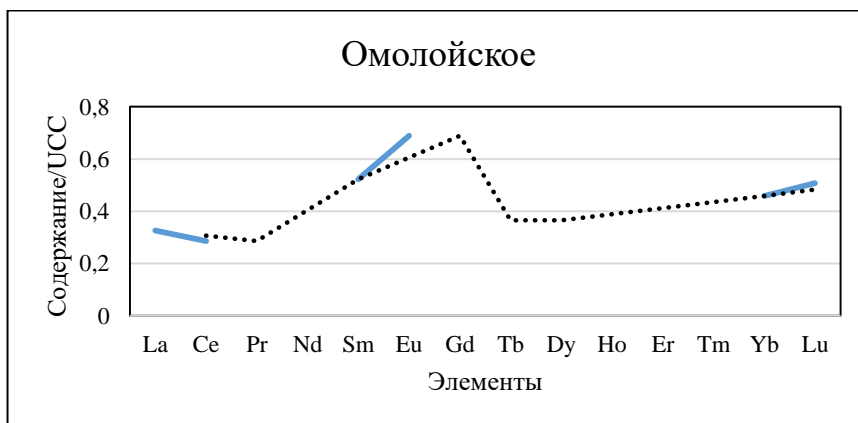


Рисунок 4.12 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14]

Исходя из графика видно, что средние лантаноиды накапливались более активно нежели легкие и тяжелые.

4.5 Каякское месторождение

Каякское месторождение является одним из исследуемых, которые уже разрабатывались. «Шахта Котуй» вела отработку вплоть до 2009 года, и была закрыта в связи с исчерпанием запасов разрабатываемого пласта. Последующая отработка месторождения пока не рассматривается. Но при возобновлении работ, вполне возможно попутное извлечение нескольких ценных элементов-примесей. Далее, в таблицах 4.11-4.14 представлены результаты исследований для Каякского месторождения.

Таблица 4.11 – Среднее содержание элементов примесей в углях Каякского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание, г/т.	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Na, %	0,49 ±0,29	167,7	<20	2,4	н/д
Ca, %	10,86 ±9,45	246,1	0,67	77	н/д
Sc	6,10 ±2,06	95,4	0,46	18,1	3,7
Cr	63,9 ±36,5	161,9	<0,2	312	17
Fe, %	1,92 ±0,66	96,6	0,3	5,8	н/д
Co	8,50 ±1,78	59,2	1,8	60,4	6
Br	8,27 ±2,76	81,8	3,2	20,8	6
Rb	18,25 ±12,0	185,4	<0,6	76	18
Sr	1,88 ±1,88	282,8	<7	15	100
Sb	0,95 ±0,41	121,1	<0,2	3	1
Cs	2,22 ±1,08	137,5	<0,3	7,5	1,1
Ba	215 ±85	111,8	<8	630	150
La	18,56 ±5,85	89,2	2,20	44,6	11
Ce	32,34 ±10,38	90,8	4,0	79,9	23
Sm	3,32 ±0,87	73,6	0,16	6,7	2,2
Eu	0,98 ±0,31	90,8	0,10	2,4	0,43
Tb	0,35 ±0,09	73,0	<0,05	1,9	0,31
Yb	1,64 ±0,42	72,0	0,19	3,4	1
Lu	0,33 ±0,07	61,4	0,05	0,66	0,2
Hf	3,10±0,97	88,3	0,71	7,5	1,2
Ta	0,64 ±0,25	111,7	<0,05	1,9	0,3
Th	6,11 ±2,20	102,0	0,56	15,4	3,2
U	2,92 ±0,99	95,9	<0,1	8,20	1,9
Количество проб – 8. A ^d =5,7%					

Данные таблицы 4.11 отражают среднее содержание элемента с его отклонением в выборке, рассчитанный коэффициент вариации, показатели минимальных и максимальных значений, а также, для визуального восприятия контраста - значение кларка. Анализируя полученные данные в таблице видно, что показатели минимума и максимума, привычно для углей, сильно разнятся, что доказывает и повышенный коэффициент вариации. Повышенные значения отклонения от среднего значения (разброс) свидетельствуют о различных условиях накопления и формирования угля. Также на это влияет и недостаточное количество проб. В качестве примера приведен ряд элементов значения, которых наиболее сильно разнятся и имеют высокий коэффициент вариации, среди них Ca, Rb, Sr. Повышенные содержания кальция объясняются карбонатным составом вмещающих пород. Интерес вызывают максимальные концентрации Sr, которые, собственно не являются аномальными, а высокий коэффициент вариации и очень большой разброс является следствием почти полного отсутствия содержания элемента в большинстве проб. Касательно остальных элементов – следствием большого разброса является малое количество проб. Самими ровными значениями отличаются Co, Br.

Таблица 4.12 – Среднее содержание элементов примесей в золах углей Каякского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Na, %	1,30 ±0,87	133,82	н/д	3,67	н/д
Ca, %	345,5 ±320	185,1	19,6	1305	н/д
Sc	47,9 ±14,7	61,3	17,0	85,7	24
Cr	243,1 ±106	86,9	н/д	428,6	120
Fe, %	16,45 ±8,27	100,5	5,65	40,7	н/д
Co	175,1 ±66,1	75,5	30,5	303,7	37
Br	87,9 ±15,0	34,2	46,7	118,5	32
Sb	14,9 ±11,6	156,7	н/д	49,0	7,5
Cs	2,99 ±2,99	200	н/д	12,0	8

Продолжение таблицы 4.12

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Ba	625 ±625	200	н/д	2500	980
La	140,9 ±71,6	101,7	47,8	354	76
Ce	241,4 ±117	97,0	105,4	592	140
Sm	24,8 ±13,5	109	5,93	64,4	14
Eu	8,40 ±2,55	60,8	3,70	15,1	2,6
Tb	3,63 ±0,41	22,7	2,72	4,69	2,1
Yb	16,8 ±5,81	69,1	7,04	30,5	6,9
Lu	3,46 ±0,9	51,9	1,85	5,10	1,3
Hf	27,7 ±7,1	51,2	14,1	47,5	9
Ta	4,66 ±4,66	200	н/д	18,6	2
Th	86,1 ±58,6	136,1	19,6	261	23
U	40,2 ±7,35	36,6	18,5	50,9	15
Количество проб – 8. A ^d =5,7 %					

*Примечание: н/д – нет данных

С переходом на золу угля картина меняется незначительно, хотя и сглаживает большие разбросы в содержаниях, и соответственно уменьшает коэффициент вариации. Среди аномальных значений на фоне остальных выделяются достаточно высокие содержания лантаноидов, гафния и тантала.

Таблица 4.13 – Результаты расчета кларка концентрации

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола
Na, %	0,49	1,30	н/д	н/д	н/д	н/д
Ca, %	10,7	346	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	6,10	47,9	3,7	24	1,65	2,00
Cr	63,9	243	17	120	3,76	2,03
Fe, %	1,92	16,5	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	8,50	175	6	37	1,42	4,73
As	н/д	н/д	9	46	н/д	н/д
Br	8,27	87,9	6	32	1,38	2,75
Rb	18,3	н/д	18	110	1,01	н/д

Продолжение таблицы 4.13

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола
Sb	0,95	14,9	1	7,5	0,95	1,98
Cs	2,22	2,99	1,1	8	2,02	0,37
Ba	215	625	150	980	1,43	0,64
La	18,6	141	11	76	1,69	1,85
Ce	32,3	241	23	140	1,41	1,72
Sm	3,32	24,7	2,2	14	1,51	1,77
Eu	0,98	8,40	0,43	2,6	2,28	3,23
Tb	0,35	3,63	0,31	2,1	1,13	1,73
Yb	1,64	16,8	1	6,9	1,64	2,44
Lu	0,33	3,46	0,2	1,3	1,65	2,66
Hf	3,10	27,7	1,2	9	2,58	3,08
Ta	0,64	4,66	0,3	2	2,13	2,33
Th	6,11	86,1	3,2	23	1,91	3,74
U	2,92	40,2	1,9	15	1,54	2,68
Количество проб – 8. $A^d=5,7\%$						

*Примечание: н/д – нет данных

Данные таблицы 4.13 позволяют выделить наиболее интересные значения содержаний элементов относительно кларковых (>1). В отношении содержания в угле к кларку выделяются ряд элементов: Cr ($K_k = 3,76$), Cs ($K_k = 2,02$), так же группа лантаноидов, Hf и Ta. Что касается содержания в золе – стоит выделить Co ($K_k = 4,73$), Br ($K_k = 2,75$), выдержанность повышенных содержаний для группы лантаноидов Hf, Ta, а также относительно высокие содержания Th и U (K_k 3,74 и 2,68 соответственно).

На графике далее представлены рассчитанные показатели кларка концентрации для элементов в углях.

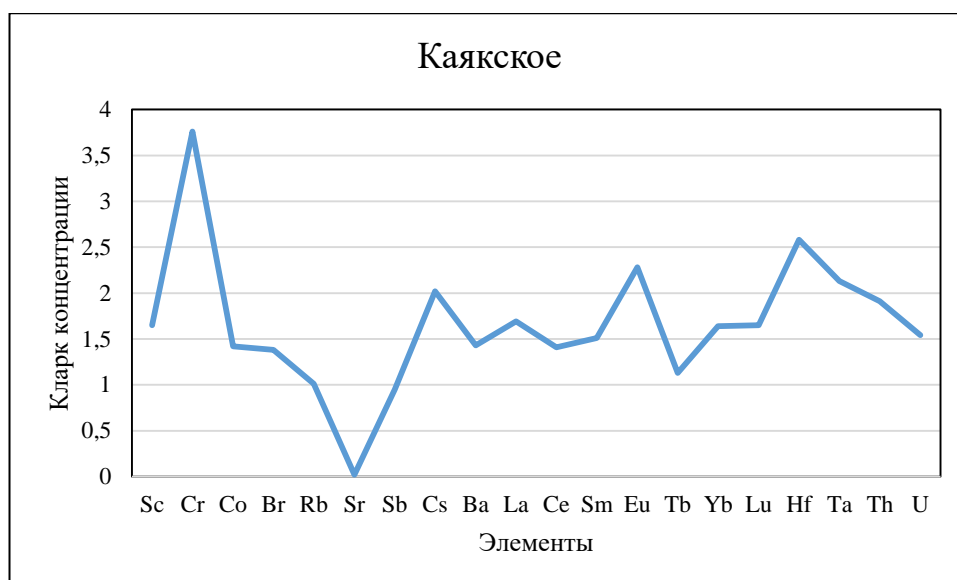


Рисунок 4.13 – Показатели кларка концентрации для Каякского месторождения

Таблица 4.14 – Сравнение среднего содержания элементов в углях с порогом токсичности и минимальными промышленными значениями

Элемент	Среднее содержание	Порог токсичности, г/т.	Мин. пром. знач., г/т.
Sc	6,1	н/д	10
Cr	63,9	100	1400
Co	8,5	100	20
Rb	18,3	н/д	35
Sr	1,88	н/д	400
Sb	0,95	6	30
Cs	2,22	н/д	30

*Примечание: н/д – нет данных

По данным таблицы 4.14 видно, что ни один из элементов не превышает порог токсичности и не имеет минимальных промышленных значений. Из чего следует, что угли являются экологически чистыми, но при этом не могут отвечать промышленным требованиям по извлечению данных элементов. Наиболее близким к токсичным является содержание Cr. К промышленным – Rb и Co.

В ходе работы также рассчитано отношение средних содержаний элементов в угле месторождения к содержанию этих же элементов в земной коре. Результаты отображены на графике 4.14.

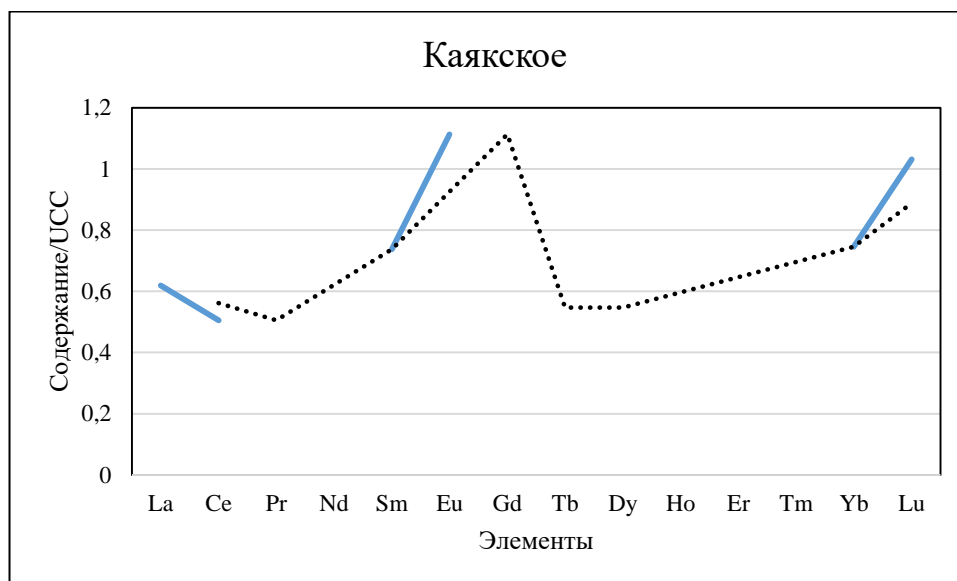


Рисунок 4.14 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14]

Анализируя график выше, следует отметить повышенные содержания лантаноидов в целом, по отношению к другим исследуемым месторождениям. Элементы группы средних и тяжелых лантаноидов накапливались активнее, нежели легких, и по своим содержаниям сравнимы с содержаниями элементов в верхней континентальной земной коре, а иногда даже превышают их.

4.6 Кайерканское месторождение

К данному месторождению, относящемуся к Тунгусскому бассейну, не привлекалось достаточного внимания со стороны ученых. Впрочем, это было не обоснованно, так как концентрации некоторых элементов здесь являются предельно аномальными. Далее, в таблицах 4.15-4.18 представлены результаты исследований для Кайерканского месторождения.

Таблица 4.15 – Среднее содержание элементов примесей в углях Кайерканского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Содержание, г/г	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/г
Na, %	0,14 ±0,03	52,4	0,08	0,28	н/д
Ca, %	0,74 ±0,28	93,1	<300	1,70	н/д
Sc	6,60 ±1,41	52,3	3,50	13,4	3,7
Cr	34,18 ±7,13	51,1	19,6	58,3	17
Fe, %	1,79 ±0,46	62,9	0,50	3,20	н/д
Co	3,63 ±0,51	34,3	2,10	5,20	6
Br	1322 ±1001	170	185	5328	6
Rb	21,7 ±9,94	112	<0,6	53,0	18
Sr	234,8 ±83,5	87,1	<7	519	100
Sb	0,96 ±0,67	170	<0,2	4,2	1
Cs	1,57 ±0,64	101	<0,3	4,0	1,1
Ba	447,3 ±80,34	44,0	280	770	150
La	13,6 ±3,52	63,5	2,70	25,7	11
Ce	33,8 ±5,97	43,3	14,6	54,6	23
Sm	3,47 ±0,61	43,2	1,4	5,2	2,2
Eu	0,68 ±0,08	30,0	0,38	1	0,43
Tb	0,63 ±0,15	59,8	0,27	1,1	0,31
Yb	1,17 ±0,33	68,4	<0,1	2	1
Lu	0,36 ±0,1	67,5	0,15	0,7	0,2
Hf	4,37 ±1,67	93,7	1,2	12,3	1,2
Ta	1,37 ±0,55	97,5	0,3	3,9	0,3
Th	6,40 ±2,12	81,3	1,7	14,3	3,2
U	3,52 ±1,55	108	<0,1	9,6	1,9
Количество проб – 6. A ^d =21,1					

Данные таблицы 4.15 отражают среднее содержание элемента с его отклонением в выборке, рассчитанный коэффициент вариации, показатели минимальных и максимальных значений, а также, для визуального восприятия контраста - значение кларка. Анализируя полученные данные в таблице видно, что показатели минимума и максимума, привычно для углей отличаются, что доказывает и повышенный коэффициент вариации. Повышенные значения отклонения от среднего значения (разброс) свидетельствуют о различных условиях накопления и формирования угля. Также на это влияет и недостаточное количество проб. Элементы Вг, Rb, Sb имеют наибольшие показатели коэффициента вариации, тем самым вызывая к себе интерес. Причем, если содержания Rb и Sb не позволяют говорить о своей аномальности, ведь средние содержания близки по значению к кларковому, а следствием высоких значений коэффициента вариации и отклонения, скорее всего, является неравномерное распределение и накопление элементов в углях, вкупе с недостаточным количеством проб, то ситуация с Вг принципиально отличается! При большом (но следует отметить что не чрезвычайно большом) коэффициенте вариации максимальное содержание превышает кларковое почти в 900 раз! А среднее, без учета аномального максимального, поддерживает тенденцию, превышая кларк более чем в 200 раз. Такие цифры были бы более весомыми, если в анализе принимало большее количество проб, но даже учитывая их недостаточность, содержания Вг в углях Кайерканского месторождения определенно заслуживает особого внимания.

Таблица 4.16 – Среднее содержание элементов примесей в золах углей Кайерканского месторождения. Основные статистические показатели

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Na, %	0,78 ±0,21	61,1	0,30	1,56	н/д
Ca, %	4,11 ±2,04	110,8	н/д	10,3	н/д

Продолжение таблицы 4.16

Элементы	Среднее содержание, г/т	Коэффициент вариации	Минимум	Максимум	Кларк, г/т
Sc	32,2 ±6,55	45,4	20,0	56,3	24
Cr	165 ±22,7	30,8	118,8	244,9	120
Fe, %	8,06 ±2,99	82,8	2,78	18,2	н/д
Co	16,9 ±1,61	21,3	11,7	20,6	37
Br	7374 ±5858	177,7	1027,8	30786,1	32
Rb	113,8 ±47,4	93,2	н/д	224,2	110
Sr	1027 ±428,3	93,3	н/д	1907,5	730
Sb	5,23 ±4,56	195,0	н/д	23,3	7,5
Cs	7,27 ±2,58	79,3	н/д	13,3	8
Ba	2093,4 ±553,1	59,1	1285,7	4277,8	980
La	55,7 ±12,9	51,7	11,3	85,7	76
Ce	137,5 ±13,7	22,2	88,5	169,3	140
Sm	15,2 ±2	29,3	8,48	20,6	14
Eu	3,28 ±0,49	33,2	1,90	4,20	2,6
Tb	3,06 ±0,52	37,7	1,64	4,62	2,1
Yb	4,67 ±1,39	66,5	н/д	7,98	6,9
Lu	1,76 ±0,37	46,9	0,91	2,90	1,3
Hf	20,0 ±5,72	64,1	7,27	41,0	9
Ta	5,58 ±2,02	81,1	2,00	13,0	2
Th	30,5 ±8,01	58,7	10,3	47,7	23
U	15,9 ±6,68	94,0	н/д	32,0	15
Количество проб – 6. A ^d =21,1					

Ситуация с данными по золе угля принципиально не отличается. Коэффициент вариации в большинстве случаев становится более низким. Но в случае с Br он все также высок. А максимальное содержание брома в золе сохраняет свою аномалию, превышая кларк в десятки раз. Помимо брома можно выделить содержания Ba, Hf, Ta, которые при относительно не высоком коэффициенте вариации превышают кларковые в несколько раз.

Таблица 4.17 – Результаты расчета кларка концентрации

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола
Na, %	0,14	0,78	н/д	н/д	н/д	н/д

Продолжение таблицы 4.17

Элементы	Содержание, г/т		Кларк, г/т		Кларк концентрации	
	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола
Ca, %	0,74	4,11	н/д	н/д	н/д	н/д
Sc	6,60	32,2	3,7	24	1,78	1,34
Cr	34,2	165	17	120	2,01	1,38
Fe, %	1,79	8,06	н/д	н/д	н/д	н/д
Co	3,63	16,9	6	37	0,61	0,46
Br	321	1599	6	32	53,50	50,0
Rb	21,7	114	18	110	1,21	1,04
Sr	235	1027	100	730	2,35	1,41
Sb	0,96	5,23	1	7,5	0,96	0,70
Cs	1,57	7,27	1,1	8	1,43	0,91
Ba	447	2093	150	980	2,98	2,14
La	13,6	55,7	11	76	1,24	0,73
Ce	33,8	138	23	140	1,47	0,99
Sm	3,47	15,2	2,2	14	1,58	1,09
Eu	0,68	3,28	0,43	2,6	1,58	1,26
Tb	0,63	3,06	0,31	2,1	2,03	1,46
Yb	1,17	4,67	1	6,9	1,17	0,68
Lu	0,36	1,76	0,2	1,3	1,80	1,35
Hf	4,37	20	1,2	9	3,64	2,22
Ta	1,37	5,58	0,3	2	4,57	2,79
Th	6,40	30,52	3,2	23	2,00	1,33
U	3,52	15,9	1,9	15	1,85	1,06
Количество проб – 6. $A^d=21,1$						

Примечание: н/д – нет данных

Таблица 4.17 показывает, что средние содержания почти всего перечня исследуемых элементов превышают кларковые значения за исключением Co и Sb (Кк 0,61 и 0,98) соответственно. Примечательным является значение кларка концентрации по Br, составляющее 53,5! С переходом к содержаниям элементов в золе сохраняются общая тенденция повышенных значений, хотя и становятся не такими яркими. Из всего перечня, помимо Br (Кк содержания в золе все также за пределами высок 49,97) стоит выделить Ba, Hf и Ta значения Кк которых превышают значение 2.

Далее представлен график, отражающий полученные значения по кларку концентрации в углях Кайерканского месторождения (рисунок 4.15).

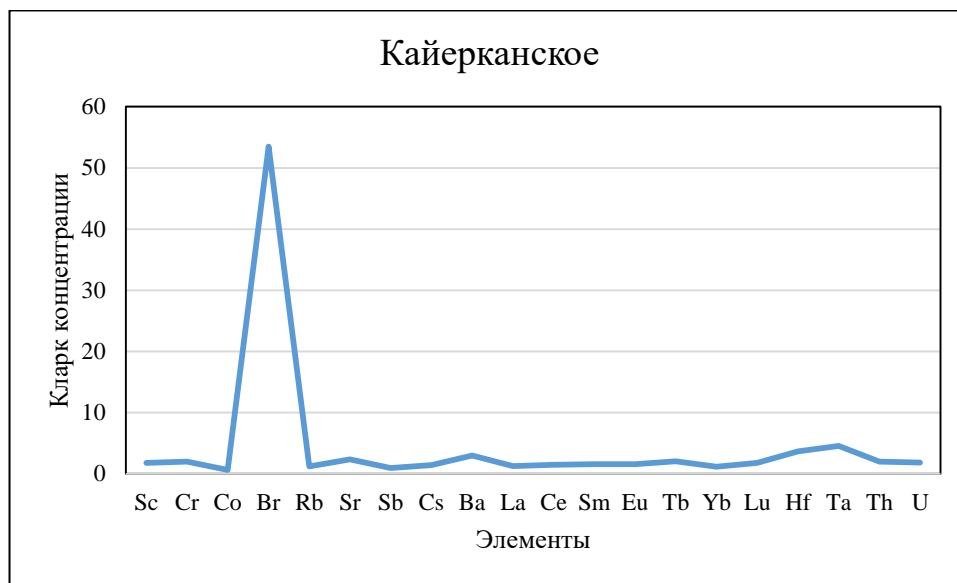


Рисунок 4.15 – Показатели кларка концентрации для Кайерканского месторождения

Таблица 4.18 – Сравнение среднего содержания элементов в углях с величиной порога токсичности и минимальными промышленными значениями

Элемент	Среднее содержание	Порог токсичности, г/т	Мин.пром.знач, г/т
Sc	6,60	н/д	10
Cr	34,2	100	1400
Co	3,63	100	20
Rb	21,7	н/д	35
Sr	235	н/д	400
Sb	0,96	6	30
Cs	1,57	н/д	30

Примечание: н/д – нет данных

Исходя из данных таблицы 4.18 следует, что среднее содержание ни одного из элементов не превышает порога токсичности и минимальных промышленных значений. Из этого следует, что угли Кайерканского месторождения являются экологически чистыми.

В ходе работы исследовано отношение средних содержаний элементов в углях Кайерканского месторождения к содержаниям элементов в земной коре. Результаты представлены на графике ниже (рисунок 4.16).

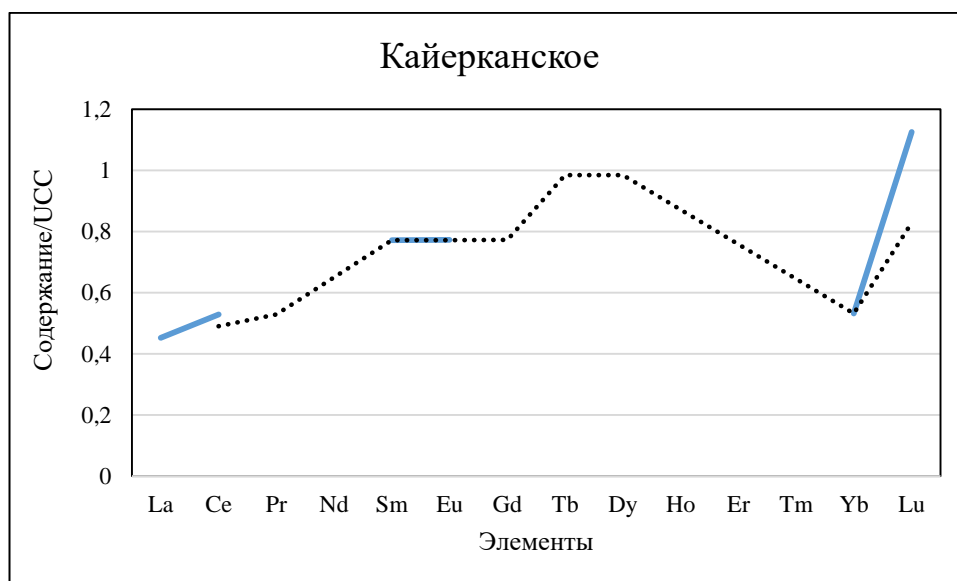


Рисунок 4.16 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14]

Анализируя график, отчетливо видно смещение в содержании лантаноидов в сторону группы тяжелых. Легкие и средние накапливались не так активно. Содержание иттербия вовсе превышает показатель содержания элемента в верхней континентальной земной коре.

4.7 Среднее содержание элементов в углях и золах углей исследуемых месторождений Арктической зоны России

В ходе работы были исследованы данные по 6 месторождениям угля, далее полученные результаты обобщены и проанализированы. В таблице 4.19 представлены средние содержания элементов для 6 месторождений.

Таблица 4.19 – Средние содержания элементов в угле, их кларковые значения, расчет кларка концентрации

Элементы	Среднее содержание	Кларк, г/т	Кларк концентрации
Na, %	0,19	н/д	н/д
Ca, %	2,81	н/д	н/д
Sc	6,10	3,7	1,6
Cr	37,2	17	2,2
Fe, %	1,06	н/д	н/д
Co	7,80	6	1,3
As	7,68	9	0,9
Br	68,5	6	11,4
Rb	17,8	18	1,0
Sr	120	100	1,2
Sb	0,67	1	0,7
Cs	1,67	1,1	1,5
Ba	375	150	2,5
La	15,6	11	1,4
Ce	31,8	23	1,4
Sm	3,13	2,2	1,4
Eu	0,79	0,43	1,8
Tb	0,51	0,31	1,6
Yb	1,65	1	1,7
Lu	0,28	0,2	1,4
Hf	2,56	1,2	2,1
Ta	0,67	0,3	2,2
Th	8,73	3,2	2,7
U	2,08	1,9	1,1

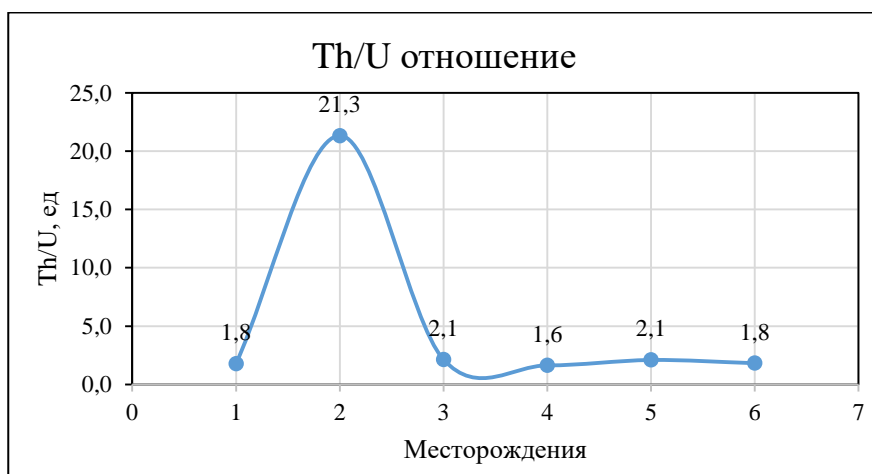
По данным таблицы 4.19 видно, какие из элементов превышают кларковые содержания. Среди них выделяется, прежде всего, бром (из-за аномалии на Кайерканском месторождении), и группа элементов, чье содержание превышает кларк более чем в 2 раза: Cr, Ba, Hf, Ta, Th.

Таблица 4.20 – Средние содержания элементов в золах углей, кларковые значения, расчет кларка концентрации

Элементы	Содержание, г/т	Кларк, г/т	Кларк концентрации
Na	1,11	н/д	н/д
Ca	16,4	н/д	н/д
Sc	35,7	24	1,5
Cr	217	120	1,8
Fe	6,2	н/д	н/д
Co	45,6	37	1,2
As	44,9	46	1,0
Br	400	32	12,5
Rb	104	110	0,9
Sr	701	730	1,0
Sb	3,92	7,5	0,5
Cs	9,77	8	1,2
Ba	2195	980	2,2
La	91,5	76	1,2
Ce	185,9	140	1,3
Sm	18,3	14	1,3
Eu	4,62	2,6	1,8
Tb	2,98	2,1	1,4
Yb	9,65	6,9	1,4
Lu	1,64	1,3	1,3
Hf	15,0	9	1,7
Ta	3,92	2	2,0
Th	51,1	23	2,2
U	12,2	15	0,8
Средняя зольность – 17,1			

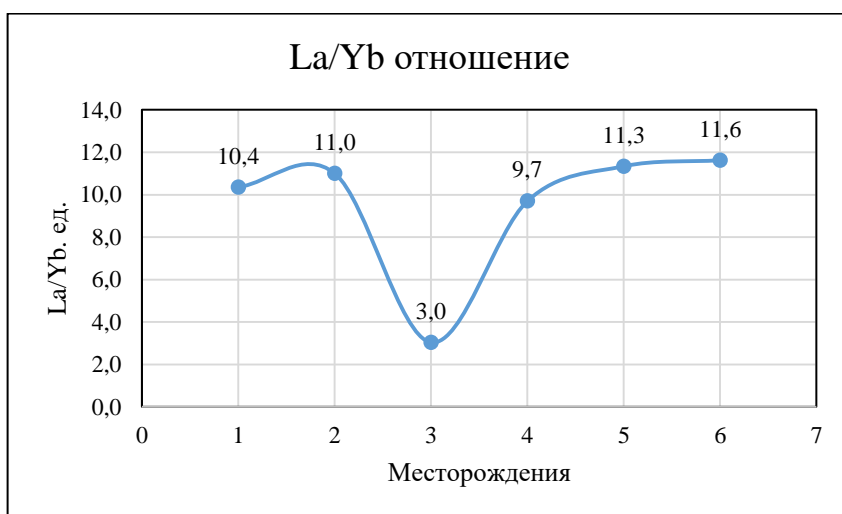
Данные таблицы 4.20 отражают содержания элементов с пересчетом на золу. В целом, выбранные элементы не теряют своих содержаний. Также высокие показатели по бромю ($K_k=12,5$); Ва, Нf, Та и Th ($K_k \sim 2$).

На основе полученных данных в ходе работы были построены диаграммы Th/U и La/Yb отношений, которые представлены далее на рисунках 4.17 и 4.18. Отличительными здесь являются два момента. На первом рисунке очевидна аномалия на Жиганском месторождении, где Th/U отношение многим больше нежели на других ($21,3 \gg \sim 2$). На втором аномалия выделяется на месторождении Фандюшкинское поле, где La/Yb отношение резко смещено в сторону тяжелых лантаноидов (Tb, Yb).



1	Сырадасайское
2	Жиганское
3	Фандюшкинское
4	Омолойское
5	Каяское
6	Кайерканское

Рисунок 4.17 – Th/U отношение



1	Сырадасайское
2	Жиганское
3	Фандюшкинское
4	Омолойское
5	Каяское
6	Кайерканское

Рисунок 4.18 – La/Yb отношение

По полученным результатам было рассчитано отношение средних содержаний элементов в углях к содержанию элементов в земной коре. Результаты представлены ниже, на рисунке 4.19.

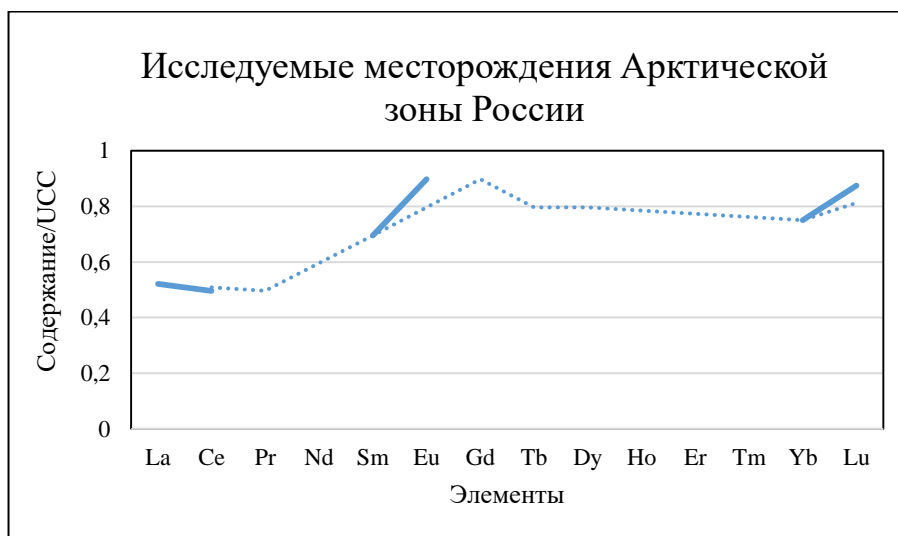


Рисунок 4.19 – График отношения содержаний элементов в углях к кларку для верхней континентальной земной коры (UCC) [14]

Данные графика определяют отношение накапливаемых в углях лантаноидов для территории Арктической зоны России. Преобладающими являются средние и тяжелые, значения содержаний которых близки к содержаниям в верхней континентальной земной коре; легкие же лантаноиды накапливались не так активно, что указывает на водородный механизм их накопления в угле.

Также была составлена карта геохимической специализации исследуемых углей (рисунок 4.20). Следует отметить схожие повышенные накопления Hf и Ta в углях Омолойского, Кайерканского и Каякского месторождений. Высокие содержания Sr характерны для Сырадасайского, Каякского и Жиганского месторождений. Касаемо Жиганского месторождения – приведены элементы с наибольшими превышениями, хотя и многие другие концентрации также заслуживают отдельного внимания.



Рисунок 4.20 – Геохимическая специализация угольных месторождений Арктической зоны России

5 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ЦЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ- ПРИМЕСЕЙ В УГЛЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Делая выводы о природе накопления ценных и токсичных элементов примесей в углях Арктики, следует отметить скудную геологическую, геохимическую изученность региона, недостаточную информативную освещённость по данным вопросам. Поэтому, сделанные выводы являются лишь мнением, и не могут достоверно ответить на все вопросы, связанные с закономерностями распределения и условиями накопления ценных и токсичных элементов-примесей в углях.

Изученные месторождения Арктической зоны России относятся к различным бассейнам (Таймырский, Тунгусский, Ленский, Яно-Омолойский, Беринговский), имеют разное геологическое строение и возраст (от нижней юры до миоцена), и соответственно различные причины накопления элементов-примесей. Тем не менее, учитывая основные закономерности латерального распределения ценных и токсичных элементов-примесей, сформированы и описаны несколько возможных причин, вследствие которых сконцентрировались и локализовались присутствующие конкретным месторождениям элементы-примеси.

Сырадасайское месторождение

В исследовании принимали участие 42 пробы. Результаты проведенных анализов и аналитические работы показали, что к элементам с повышенными содержаниями на данном месторождении относятся Sc, Cr, Cs и Ba. Наибольший показатель кларка концентрации у Ba – 5,2; а его максимальное содержание 12315 г/т превышает кларк в 12,5 раз. Помимо указанных элементов стоит отметить единичное содержание As, которое составляет 327 г/т, что превышает кларк в 7 раз и является экологически опасным (порог токсичности мышьяка – 300 г/т). Также мышьяк является технологически

вредным элементом, который при сжигании будет выбрасываться в атмосферу, а при конверсии в жидкое топливо – отравлять катализаторы [20].

Скандий относится к литофильным редким металлам. При недостаточном изучении механизма формирования скандиеносных углей в целом, сложно с точностью ответить на вопрос о природе его формирования в данном случае. Основной причиной накопления элемента может являться принадлежность источника питания к зоне интенсивного траппового магматизма.

Хром – литофильный и сидерофильный элемент, сровни бария, широко распространённый в земной коре. Кроме основной причины накопления элементов для данного месторождения, связанной с щелочным составом пород обрамления, стоит отметить, что хром сам по себе является биогенным элементом, т.е. накапливается в организмах в повышенных количествах, что косвенно может повлиять на его концентрирование в угле. Следует отметить, что хром является потенциально ценным элементом лишь в случае, когда он совместно накапливается с V и Ni (Шпирт, Клер, Перциков 1990), а при отсутствии эти данных, его скорее стоит отнести к группе потенциально токсичных.

Барий является щелочноземельным металлом. И является одним из часто встречающихся элементов, чье содержание в угле превышает кларковые. В данном случае, повышение концентрации бария являются следствием ряда причин, среди которых: влияние морских вод [25], постоянное присутствие $Ba_{орг}$ в углях (Beaton, Goodarzi 1989), щелочной состав пород обрамления. Отмечается, что в отличии от других исследуемых элементов – барий достаточно широко распространён в земной коре в более удачных для его извлечения формах, что в целом, ограничивает возможность становления бария, как стратегически важного элемента в контексте геохимии углей.

На повышенные содержания Sc, Cs, Cr и Ba так же мог повлиять привнос этих элементов ореольными водами, вкупе с расположением в зоне

интенсивного траппового магматизма в зоне развития рудных поясов, характерный для Таймырского бассейна. Делая выводы о качестве и пригодности углей Сырадасайского месторождения, можно с уверенностью говорить о возможной рентабельной отработке месторождения, имея колоссальные запасы стоит обращать внимание лишь на содержания мышьяка и хрома, которые в данном случае относятся к группе потенциально опасных. Из чего следует, что необходимо сконцентрировать внимание на содержания именно этих двух элементов. Касаясь возможности комплексного освоения – даже при повышенных, но недостаточных для промышленного извлечения концентрациях некоторых ценных элементов (Sc, Ba, Hf, Ta) – месторождение все же относится к не перспективным для попутного извлечения ценных элементов-примесей.

Жиганское месторождение

К наиболее изученным, из исследуемых в данной работе месторождений относится именно Жиганское месторождение. При исследовании геохимии углей которого, в первую очередь следует обратить внимание на общую обогащенность углей ценными элементами-примесями. Возможным источником повышенных концентраций ценных элементов может является приуроченность к пермтриасовым толщам Верхоянья, где по мнению ряда ученых, намечился «редкоземельный пояс Верхоянья» природа которого не установлена. Можно говорить лишь о том, что источник ценных элементов – терригенный [8]. В первую очередь, опираясь на работы Каширцева В.А. [7,8], оценивая потенциал углей месторождения, можно с уверенностью говорить о том, что участок является более, чем перспективным. Поэтому, дальнейшие исследования, возможно, приведут к выводам о том, что именно Жиганское месторождение может стать отправной точкой для комплексного освоения угольных месторождений в России, с попутным извлечением целого ряда ценных элементов-примесей (Sc, Cr, Ba, Sr, Ln, Hf, Th и др.)

Месторождение Фандюшкинское поле

Данное месторождение обладает отличными характеристиками для освоения и отработки. Здесь и географическое расположение, и качество углей, вместе со «свежестью» привлеченных для отработки технологий. Однако, в плане редкометального потенциала смотрится более серо, на фоне других исследуемых в работе месторождений. При относительной выдержанности низких содержаний ценных компонентов в углях месторождения Фандюшкинское поле выделяется группа лантаноидов. Процентное содержание которых смещено в сторону тяжелых лантаноидов – тербия и иттербия, что само по себе является редкостью. Причиной такой аномалии, скорее всего, являются особенности состава области питания вкупе с составом вмещающих пород, представленных, преимущественно, базитами. Также, свою роль в накоплении именно тяжелых лантаноидов мог внести активный вулканизм, распространённый на данной территории.

Омолойское месторождение

Наименее изученное месторождение среди исследуемых отличается повышенными содержаниями группы элементов Rb, Sr, Sb, Cs, Ba. При этом, концентрации рубидия превышают показатели минимальных значений, обуславливающих возможность промышленного извлечения – $35,7 > 35$ г/т., при этом, даже при отсутствии данных по зольности, используя средний показатель ($A_d = 20$) значение содержания рубидия будет составлять около 180 г/т, что превышает кларковое в 2 раза (кларк в земной коре по Тейлору – 90 г/т).носителем элемента в данном случае, скорее всего являются глинистые минералы (Palmer, Wandless 1985). Интересен факт того, что сопутствующий рубидию элемент – Cs, также превышает кларк вдвое ($2,34 > 1,1$ г/т), но в силу того, что промышленное значение по цезию составляет 30 г/т – содержание элемента не является промышленным. Учитывая фактическую не освещённость вопроса не только геохимии углей месторождения, но и геологии в целом, сделать какие-то выводы касаясь «Омолоя» довольно непросто. Видятся 2 основных направления. Первая причина накопления

данных элементов может быть обусловлена тем, что месторождение слагают богатые ими щелочные осадочные породы, продукты разрушения которых являются непосредственным источником повышенных концентраций этих элементов. А высокие содержания гафния и малоподвижного тантала – также могут свидетельствовать о изначальном накоплении именно в углевмещающих породах и обрамлении, с переносом и сорбции в угле. Второе предположение - пермский возраст углей вкупе с высокими содержаниями гафния и тантала указывает на проявление щелочного вулканизма, что в целом, не исключает первую, а скорее дополняет ее. Отдельно следует отметить повышенные содержания сурьмы, на которое в наименьшей степени могли повлиять вышеуказанные факторы. Главным фактором накопления которой мог являться привнос ореольными водами, и в целом «водный фактор». В целом можно расценивать месторождение, как потенциально рентабельное для отработки.

Каякское месторождение

Для Тунгусского бассейна в целом, характерно увеличение мощности угленосной формации в направлении с востока на запад. В этом же направлении увеличивается и угленасыщенность отложений, что объясняет разницу в концентрировании элементов между месторождениями (Каякским, располагающимся на востоке, и Кайерканском, на западе). Для Каякского месторождения характерны повышенные содержания кальция (11%). Связано это, прежде всего, с составом пород обрамления, преобладающая часть которых представлена карбонатными отложениями. Относительно высокие содержания урана и тория (кк ~2), ценных элементов, в частности лантаноидов, скорее всего, обусловлены территориальной близостью к Анабарскому щиту, область сноса которого могла служить источником привноса этих элементов. Повышенные содержания Hf и Ta, аналогично Омолойскому месторождению, возможны вследствие проявления щелочного вулканизма перми.

Кайерканское месторождение

Содержание целого ряда элементов на данном месторождении превышают кларковые (Ba, Cr, Sr, лантаноиды), природа концентрации которых, скорее всего совпадает с природой накопления на других месторождениях (щелочноземельный состав обрамления вкупе с влиянием ореольных вод). Высокие концентрации Hf и Ta также являются классическими маркерами проявления пермского щелочного вулканизма. Но все они на фоне превышений содержания брома меркнут (кк в угле 53,5; в золе 50). Средние содержания по бромю составили 1322 г/т в угле и 7374 г/т в золах углей! При аналогичных максимальных показателях – 5328 г/т и 30786 г/т! Не менее интересным является факт того, что даже минимальное значение содержания брома здесь превышает кларк в 30 раз, и составляет 185 г/т. Для сравнения – максимальное предложенное значения кларка в земной коре составляет 10 г/т (Ферсман, 1939); а кларк для морской воды, из которой к слову в основном и добывают бром – 65 мг/л (Riley, Skirrow), 67 г/т (Виноградов, 1962).

Данный район не сложен бромсодержащими породами. И так, исключая привнос и накопление брома из вмещающих пород возможным источником брома могут являться подземные воды, особенно учитывая то что район является нефтегазоносным – а подземные воды нефтяных и газовых месторождений богаты бромом. Также, бром активно накапливается в водорослях, а значит можно предположить, что, если одним из главных источников образования угля на этом месторождении являлись водоросли – его высокое содержание можно списать также на этот фактор, хотя бром и относят к группе элементов, к которым растения толерантны и активно их накапливают, указывается лишь трехкратное возможное накопление, по отношению к содержаниям элемента в почве (Ковалевский, Грабовская). Еще одним объяснением столь высоких концентраций брома являются результаты исследований Ф.Фишера, исходя из которых ненасыщенные соединения в углях в первую очередь реагируют с галоидами и способны поглощать до 30%

исходного притока брома, что в свою очередь также делает их более склонными к самовозгоранию.

Бром является токсичным элементом, даже его название с древнегреческого переводится как «дурной запах, зловоние». При таких концентрациях – сложно представить использование данных углей без соответствующей подготовки и должного экологического контроля.

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» дипломной работы представлен расчет сметной стоимости работ по исследованию геохимии углей Арктической зоны России. В ходе работ были исследованы материалы с 6 угольных месторождений: Сырадасайского, Жиганского, Фандюшкинского поля, Омолойского, Каякского и Кайерканского.

Сметная стоимость рассчитывается согласно нормативным правовым документам:

- Методика составления временных проектно-сметных нормативов на геологоразведочные работы (Методика ВПСН);
- Сборник сметных норм на геологоразведочные работы за 1992 год выпуск №1, №7 (ССН-92, Вып.1, Вып.7);
- Сборник норм основных расходов на геологоразведочные работы за 1993 год выпуск №1 (СНОР-93, Вып.1).

Далее приведены расчеты основных экономических показателей.

6.1 Расчет объемов работ, затрат труда и размера страховых взносов

Для изучения условий накопления, закономерности распределения ценных и токсичных элементов в углях и их золах необходимо поэтапно произвести ряд работ, включающие в себя: полевые (литогеохимические), лабораторные и камеральные. При условии наличия исследуемого материала, затраты на первый (полевой этап) не учитываются. Для выполнения остальных работ привлекается геолог 1-й категории и техник-геолог. При этом, часть работ будут выполнены подрядными организациями, а для отдельных видов работ принимается наличие необходимого оборудования (МВИ, ПК, принтер). Сроки проведения работ с 01.02.2019 по 01.03.2019. Виды, объемы работ представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Виды и объемы проектируемых работ

№	Виды работ	Объем		Условия производства работ	Вид оборудования
		Ед. изм.	Количество		
1	Лабораторные работы	проба	121	пробоподготовка	МВИ-3000
2	Лабораторные работы	проба	121	пробоподготовка	-
3	Камеральные работы	проба	121	Обработка данных, анализ материалов	ПК

Лабораторные работы включают в себя пробоподготовку материала для проведения ИНАА. Проводится подготовка проб в 2 этапа, на первом материал измельчается на микровиброистирателе, на втором упаковывается в конверты из фольги для отправки на анализ.

Камеральные работы включают в себя обработку, анализ и систематизацию информации, относящейся к данному вопросу. Также включает в себя анализ полученных в результате лабораторных исследований данных.

Все работы были выполнены геологом 1-й категории и техником-геологом, в течение 4 сорокачасовых рабочих недель. Расчет заработной платы представлен в таблице 6.2, размеры страховых взносов в социальные внебюджетные фонды в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Затраты на оплату труда работников

Должность	Оклад, тыс. руб/мес	Районный коэф.	НДФЛ, %	Общее начисление, руб.
Геолог 1й категории	23000	1,5	13	30015
Техник-геолог	15000	1,5	13	19575
Всего:	49590			

Таблица 6.3 – Размеры страховых взносов

№ п/п	Вид отчисления	Общая сумма зарплаты (в рублях)	Ставка отчисления (в %)	Итого по каждому виду отчисления (в рублях)
1	Пенсионный фонд	49590	22	10909,8
2	Фонд социального страхования		2,9	1438,1
3	Фонд обязательного медицинского страхования		5,1	2529,1
4	Страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний		0,2	99,2
Итого			30,2	14976,2

6.2 Нормы расхода материалов

Нормы расхода материалов для лабораторных и камеральных работ также определялись согласно ССН, выпуск 3, а также инструкциям и методическим рекомендациям (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Нормы расхода материалов на проведение работ

Наименование и характеристика изделия	Единица	Цена, руб.	Норма расхода	ССН	Сумма, руб.
<i>Лабораторные работы</i>					
Фольга алюминиевая 10 м × 30 см	шт.	25	0,082		2,5
Пинцет медицинский	шт.	49	1		49
Итого лабораторные:	51,5 руб.				
<i>Камеральные работы</i>					
Бумага офисная	100 л	170	0,05	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 2	28
Карандаш простой	шт.	4	2,5	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 7	10
Резинка ученическая	шт.	7	0,94	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 16	6,58
Линейка чертежная	шт.	20	0,24	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 13	4,8
Ручка шариковая (без стержня)	шт.	15	0,94	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 19	14,1
Стержень для ручки шариковой	шт.	15	2,8	ССН, вып. 2, табл. 62, пункт 22	42
Картридж HP LJ 1005	шт.	750	1		750
Итого камеральные:	841,5 руб.				
Итого: 893 руб.					

6.3 Расчет амортизационных отчислений

В ходе проведения исследований, в качестве основных средств используются 2 ПК Samsung и принтер HP. Расчет затрат на возмещение их износа представлен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчет затрат на возмещение износа основных средств (амортизационные отчисления)

Наименование основных средств	Ед. изм.	Число единиц	Балансовая стоимость единицы, руб.	Продолжительность использования, месяцев	Норматив годовых отчислений, %	Сумма, руб.
ПК Samsung	шт.	2	40000	1	20	1360
Принтер HP	шт.	1	9000	1	20	153
Итого:	шт.	3	49000			1513

6.4 Расчет стоимости подрядных работ

Перечень подрядных работ и их исполнителей представлен в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Виды подрядных работ, их исполнители и стоимость

№ п/п	Наименование предприятия-субподрядчика	Вид анализа	Кол-во проб	Стоимость одной пробы, руб.	Сумма по смете субподрядчика, руб.
1	ПНИЛ по комплексному использованию горючих полезных ископаемых Западной Сибири кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики ТПУ, г. Томск	Определение зольности и влажности	56	200	11200
2	Исследовательский ядерный реактор ТПУ, г. Томск	ИНАА	121	1800	217800
	Итого:			229000 руб.	

6.5 Общий расчет сметной стоимости работ

Общий расчет сметной стоимости на выполнение исследовательских работ по изучению геохимии углей представлен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Общий расчет сметной стоимости

№ п/п	Вид расходов	Стоимость, руб.
1	Оплата труда	49590
2	Страховые взносы	14976
3	Материальные затраты	893
4	Амортизационные отчисления	1513
5	Услуги подрядных организаций	229000
6	Итого:	295972

Таким образом, суммарные затраты на проведение исследовательских работ по изучению закономерностей распределения и условий накопления ценных и токсичных примесей в углях Арктической зоны России составляет 295 972 рубля. Полученные результаты позволят обосновать дальнейшие исследования в данном направлении, а также, возможно, повлияют на развитие угледобывающей промышленности в данном регионе, посредством комплексного освоения месторождений.

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

При проведении работ по исследованию геохимии данных углей, производится литературный обзор и анализ документации, ранее проведенных исследований, диссертаций и докторских по соответствующим темам. После чего, на основании проведенных анализов и полученных данных создается рабочая база, по материалам которой производится аналитическая работа. Результатом работы является сформированная диссертация, отвечающая на вопрос геохимической специализации углей, а также рентабельности комплексной отработки исследуемых месторождений, которую можно применять, как опору для дальнейшего изучения редкометального потенциала углей Арктической зоны России.

Производственная безопасность

Требования безопасности при проектировании являются основой производственной безопасности. В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [30] все опасные и вредные факторы, при проведении проектировочных работ, подразделяются на группы (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Основные элементы производственного процесса проектирования, формирующие опасные и вредные факторы при работе

Этапы работы	Наименование запланированных видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
		Вредные	Опасные	
Проектирование	Проведение работ по проектированию, составление рабочей программы ПЭК	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Отклонение параметров микроклимата в помещении; 3. Электромагнитное излучение.	1. Поражение электрическим током; 2. Пожароопасность	ГОСТ 12.1.004-91 [31] СанПин 2.2.1/2.1.1.12 78-03 [37] СанПин 2.2.4/2.1.8.56 2-96 [39]

7.1 Анализ выявленных вредных факторов и мероприятия по их устранению

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Различают естественное, искусственное и совмещенное освещение. Недостаточная освещенность может возникать при неправильном выборе осветительных приборов при искусственном освещении и при неправильном направлении света на рабочее место при естественном освещении.

Искусственное освещение подразделяется на общее и местное. При работе с документами допускается применение системы совместного или комбинированного освещения. При общем освещении светильники устанавливаются в верхней части помещения параллельно стене с оконными проемами, что позволяет их включать и отключать последовательно в зависимости от изменения естественного освещения.

Выполнение таких работ, как, например, обработка документов, требует дополнительного местного освещения, концентрирующего световой поток непосредственно на орудия и предметы труда [37].

Освещение должно обеспечиваться коэффициентом естественного освещения не ниже 1,0 %. Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 в зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03) [37].

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Коэффициент естественной освещенности, %		Освещенность при совмещенной системе, лк	
		Фактически	Нормальное значение	Фактически	Нормальное значение
1	2	3	4	5	6
Аналитические лаборатории	Люминесцентные лампы общего освещения	0,6	$\geq 0,5$	350	≥ 300
Помещения для работы с дисплеями, залы ЭВМ	Люминесцентные лампы общего освещения	0,6	$\geq 0,5$	350	≥ 300

2. Отклонение параметров микроклимата в помещении

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Микроклиматические факторы оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье. Так, недостаточная влажность способствует пересыханию и растрескиванию кожи и слизистой, что, в свою очередь, может являться причиной заражения болезнетворными организмами. Длительное воздействие высокой температуры, зачастую, приводит к возникновению гипертермии, а низкой температуры – гипотермии. С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы микроклимата. Эти нормы устанавливают оптимальные и допустимые величины температуры, влажности и скорости движения воздуха для рабочей зоны с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года [38].

Для подачи воздуха в помещение используются системы механической вентиляции и кондиционирования, а также естественная вентиляция (проветривание помещений), регулируется температура воздуха с помощью кондиционеров как тепловых, так и охлаждающих.

В производственных помещениях согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [38] должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата (таблицы 7.3 и 7.4).

Таблица 7.3 – Оптимальные нормы микроклимата [38]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Легкая	22-24	40-60	0,1
Теплый	Легкая	23-25	40-60	0,1

Подвижность воздуха эффективно способствует теплоотдаче организма человека и положительно проявляется при высоких температурах, но отрицательно при низких.

Таблица 7.4 – Нормы подачи свежего воздуха в помещениях, где расположены компьютеры [38]

Характеристика помещения	Объёмный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
Объём до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20-40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция

Рациональная вентиляция и отопление являются наиболее распространенными способами нормализации микроклимата в производственных помещениях.

3. Электромагнитное излучение

Источниками электромагнитных полей на рабочем месте могут быть:

- Монитор;

- Системный блок ПК;
- Электрооборудование (электропроводка, сетевые фильтры, источники бесперебойного питания)

Переменное электромагнитное поле имеет электрическую и магнитную составляющие, поэтому контроль проводится раздельно по двум показателям:

- напряженность электрического поля (E), в В/м (Вольт-на-метр);
- индукция магнитного поля (B), в нТл (наноТесла).

Измерение и оценка этих параметров выполняется в двух частотных диапазонах:

- диапазон № I (от 5 Гц до 2 кГц);
- диапазон № II (от 2 кГц до 400 кГц).

Электростатическое поле характеризуется напряженностью электростатического поля (E), в кВ/м (килоВольт-на-метр) [33].

Таблица 7.5 – Санитарные нормы параметров электромагнитных полей на рабочих местах [33]

Параметр	Частотный диапазон	Санитарная норма (не более)
Напряженность электрического поля (E)	5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Индукция магнитного поля (B)	5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля (E)	0 Гц	15 кВ/м
Фоновый уровень напряженности электрического поля промышленной частоты (E)	50 Гц	500 В/м
Фоновый уровень индукции магнитного поля промышленной частоты (B)	50 Гц	5 мкТл

При постоянной не защищенной работе с ПК происходит воздействие на нервную систему, ухудшается зрение и падает иммунитет.

Для защиты организма от негативного воздействия электромагнитного излучения, необходимо сократить время пребывания в зоне излучения, так же при работе с ПК необходимы защитные экраны, которые помогают существенно снизить негативное воздействие.

7.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

1. Поражение электрическим током

Электрические установки, к которым относятся практически все электронное оборудование, представляет для человека большую потенциальную опасность.

Нормирование – значение напряжения в электрической цепи должно удовлетворять ГОСТу 12.1.038-82 ССБТ [32].

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока и ЭМП зависит от рода и величины напряжения и тока; частоты тока; пути тока через тело человека; продолжительность воздействия электрического тока на организм человека; условий внешней среды.

Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании тока через тело. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает на него сложное действие – термическое, электролитическое, биологическое, механическое.

К мероприятиям по созданию безопасных условий труда относятся:

- инструктаж персонала;
- аттестация оборудования;
- соблюдение правил безопасности и требований при работе с электротехникой.

Помещения, где размещаются рабочие места с электрооборудованием, должны быть оборудованы защитным элементом (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Экологическая безопасность

К основным источникам воздействия на окружающую среду относятся: нарушение поверхностного слоя земли, а также загрязнение их угольными отходами; загрязнение водных ресурсов, как подземных, так и поверхностных; частичное истощение водных ресурсов; нарушение режима движения

подземных и поверхностных вод в связи с горными работами; загрязнение воздушной среды выбросами котельных, горящих породных отвалов.

Итогом данных нарушений являются эрозионные процессы обезвоживания смежных территорий, загрязнение прилегающих к району разработок площадей земель, воздушного и водного пространства бассейнов. Для пространственной локализации и нейтрализации вредяного влияния горных выработок на ландшафтноэкологическую систему нужно стремиться восстанавливать земли с помощью своевременного проведения рекультивации, эффективность которой будет напрямую зависеть от установленного объема ландшафтовосстановительных работ. Рекультивация земель представляет собой комплекс работ (инженерных, горнотехнических, мелиоративных, лесохозяйственных, сельскохозяйственных и других мер), которые направлены на восстановление и повышение продуктивности земель, нарушенных промышленностью. Целью рекультивации является, прежде всего, преобразование природных комплексов, нарушенных промышленностью, в культурные ландшафты.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В современных офисах очень высока плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80-100°С. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, которое сопровождается искрением, ведет к недопустимым перегрузкам элементов электронных схем. Последние, перегреваясь, сгорают с разбрызгиванием искр. Пожарная безопасность является важной составной частью безопасности, представляющая собой единый комплекс организационных и технических мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов в лабораторных условиях.

Основными нормативными документами по вопросам пожарной и взрывной безопасности являются ГОСТ 12.1.004-91, Постановление Правительства Российской Федерации № 390 от 25 апреля 2012 года. [31] [36].

В соответствии с Нормами пожарной безопасности [35] помещение, в котором проводилась обработка результатов научной деятельности, относится к категории В (в помещении находятся горючие вещества и материалы в холодном состоянии – мебель, бумага и др.).

Основные причины, по которым может возникнуть пожар (ЧС техногенного характера) в помещении:

- возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов;
- возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;
- возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых приборов и электроустановок;
- возгорание устройств искусственного освещения.

Предотвращение распространения пожара достигается мероприятиями, ограничивающими площадь, интенсивность и продолжительность горения. К ним относятся:

- конструктивные и объёмно-планировочные решения, препятствующие распространению опасных факторов пожара по помещению;
- ограничения пожарной опасности строительных материалов используемых в поверхностных слоях конструкции здания, в том числе кровель, отделки и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации;
- снижение технологической взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий;
- наличие первичных, в том числе автоматических и привозных средств пожаротушения;

- сигнализация и оповещение о пожаре.

Меры для предупреждения и ликвидации ЧС:

- помещение должно быть оборудовано пожарной сигнализацией.
- наличие углекислотных огнетушителей.
- в здании, на случай возникновения пожара, предусмотрено несколько эвакуационных выходов.
- проходы, коридоры и рабочие места не следует загромождать архивными материалами, бумагой.

Если во время пожара пострадали люди, то им необходимо оказать первую доврачебную помощь. Во-первых, освободить обожженную часть тела от одежды, если нужно, разрезать, не сдирая приставшие к телу куски ткани. При ограниченных ожогах I степени на покрасневшую кожу хорошо наложить марлевую повязку, смоченную спиртом. При ограниченном термическом ожоге следует немедленно начать охлаждение места ожога (прикрыв его салфеткой и ПВХ-пленкой) водопроводной водой в течение 10-15 минут. После чего на пораженную поверхность наложить чистую, лучше стерильную, щадящую повязку. При обширных ожогах после наложения повязок, напоив горячим чаем, обеспечить тепло, укутав пострадавшего, срочно доставить его в больницу. Если перевязка задерживается или длится долго, обожженному дают пить щелочно-солевую смесь (1 ч. ложка поваренной соли и 1/2 ч. ложки пищевой соды, растворенных в двух стаканах воды). Впервые шесть часов после ожога человек должен принимать не менее двух стаканов такого раствора в час.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Обучение и инструктаж персонала, разработка инструкций по охране труда должны соответствовать требованиям. В инструкции должны быть отражены безопасные приемы, порядок допуска к работе, перечислены опасные и вредные производственные факторы. К самостоятельной работе с ПК и другим оборудованием допускаются сотрудники, изучившие порядок их

эксплуатации, прошедшие первичный инструктаж на рабочем месте и аттестацию по электробезопасности с присвоением второй квалификационной группы.

При организации и оборудовании рабочих мест с ПК необходимо строго выполнять как общие, так и специальные требования, установленные СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [38].

Планировка рабочего места должна удовлетворять требованиям удобства выполнения работ, экономии энергии и времени оператора, рационального использования производственных площадей, удобства обслуживания ПК, правилам охраны труда [38].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. Конструкция рабочего стола поддерживает рациональную рабочую позу при работе с ПК, позволяет изменить позу с целью снижения статистического направления мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закруглённым передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 30 ± 20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- стационарные или съёмные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 50-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращённого к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделённой от основной столешницы.

К работе с ПК допускаются лица, прошедшие предварительный и периодический медицинский осмотр, проверку знаний на третью группу допуска по электробезопасности, изучившие инструкцию и расписавшиеся в «Журнале инструктажа по правилам охраны труда на рабочем месте». Для обеспечения оптимальной работоспособности, сохранения здоровья пользователей ПК на протяжении смены устанавливается следующий регламент работ: для преподавателей, сотрудников, студентов (старших курсов) непосредственная работа не более двух часов с обязательным перерывом не менее 20 минут, общая продолжительность работы – не более 4-х часов в день [5].

Выводы

Основным выводом по данному разделу является обоснование фактора риска для здоровья работника, деятельность которого тесно связана с использованием профессионального компьютера. Избежать негативного воздействия на организм можно лишь в случае четкого исполнения критериев, указанных в руководящих и нормативных документах. Также следует отметить, что важным моментом при любой деятельности, в том числе указанной в разделе, является готовность к чрезвычайным ситуациям. Своевременное обучение позволит выйти из них с минимальным риском для жизни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Арктическая зона действительно является богатым угольными ресурсами регионом. Но, учитывая сегодняшнюю ситуацию, качество углей, логистические характеристики не позволяют говорить о получении легкой экономической выгоды при отработке данных месторождений. Лишь при планомерном развитии инфраструктуры региона можно говорить о действительно высоко рентабельном производстве.

В работе изучались геохимические особенности угля месторождений Арктической зоны на основании анализа 201 пробы. Результаты исследований позволили: оценить возможность извлечения ценных попутных компонентов, оценить качество углей и указать возможные причины накопления ценных и токсичных элементов-примесей.

По полученным данным сделаны следующие выводы:

1. Угли исследуемых месторождений обогащены рядом ценных элементов-примесей. Так, средние содержания по Hf и Ta превышают кларк на 5 из 6 месторождений (кроме Фандюшкинского поля); повышенные содержания Sc и Cr наблюдаются в углях Омолойского, Каякского и Кайерканского месторождений; повышенные концентрации Cs характерны для углей Сырадасайского, Омолойского и Каякского месторождений. Высокими концентрациями Th в угле отличаются Жиганское, Каякское и Кайерканское месторождения.

2. Повышенные концентрации почти всех ценных элементов, особенно группы лантаноидов, подтвердились на Жиганском месторождении.

3. Интересная ситуация сложилась на Фандюшкинском месторождении, где La/Yb отношение ярко смещено в сторону тяжелых лантаноидов.

4. Получены данные о сверх аномальном содержании брома на Кайерканском месторождении, превышающее кларк в десятки раз.

5. Изучив полученные данные сделан вывод о неравномерности распределения ценных и токсичных элементов-примесей в углях и золах углей исследуемых месторождений Арктической зоны России. Связано это с различными процессами и условиями формирования углей, такими как: вулканическая деятельность, источники питания, состав вмещающих пород и др.

6. Полученные данные также позволяют оценить качество углей и их экологическую безопасность. Так, повышенные содержания брома, летучего элемента, на Кайерканском месторождении являются опасным в плане воздействия на окружающую среду, при использовании данных углей. Негативным воздействием при использовании также могут отличаться угли Жиганского месторождения (высокие содержания тория и хрома).

Резюмируя вышеизложенное, можно судить о том, что географическое положение угольных объектов и качество углей позволяет судить о реальной возможности их освоения. Все они находятся вблизи «опорных зон развития». Это подразумевает динамичное развитие всех отраслей, а в природных условиях севера – люди, как нигде, нуждаются в качественном и относительно недорогом теплоэнергетическом сырье, коим уголь является. Однако, сделать выводы о рентабельности именно комплексной отработки данных месторождений пока невозможно. Для этого требуется провести более детальные и специализированные исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Опубликованная

1. Арбузов С.И., А.В. Волостнов, В.В. Ершов и др. Геохимия и металлоносность углей Красноярского края/ Под общ.ред. С.И. Арбузова. – Томск: STT, 2008. – 300 с. ISBN 5-93629-302-5\
2. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск, Изд.дом «Д-Принт», 2007 – 468 с.
3. Варшал Г.М., Д.Н.Чхетия, Т.К.Велюханова, О.А.Тютюнник, Т.В.Шумская, А.Х.Галузинская, И.Я.Кошечева, И.В.Быков, А.В.Корочанцев, Л.В.Кригман, Е.И.Жилина, Н.В.Бударина/ - Механизм концентрирования платиновых металлов в углях месторождения Кайеркан близ Норильска: по данным модельных и натуральных экспериментов. Вестник ОГГГГН РАН № 2(12) '2000, т. 2. Москва.
4. Воронина Е.П. Формирование опорных зон развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечение их функционирования: применение GAP анализа. Регионалистика том 4, №6 – 2017
5. Вялов В.И., А.Х. Богомолов, А.В. Наставкин, Е.В. Кузеванова, Е.П. Шишов, А.А. Чернышев. Ценные металлы в углях Арктической зоны России. Москва. 2019
6. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождения угля и горючих сланцев. – М.: Наука, 1987. -136 с.
7. Каширцев В.А., Зуева И.Н., Сукнев В.С. и др. Парагенетические ассоциации редкоземельных элементов в мезозойских углях северной части Ленского бассейна // Отечеств. геология. 1999. № 4. С. 65-68.
8. Каширцев В.А., Лифшиц С.Х., Сукнев В.С., Зуева И.Н., Митронов Д.В., Сяндюков Ш.А., Попов В.И. Угли Ленского бассейна как потенциальный источник редкоземельных элементов // Наука - производству. – 2004. – № 9. – С. 52-54

9. Кетрис М.П., Юдович Я.Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005 г., 648 стр., ISBN: 5-7691-1521-1
10. Кизильштейн Л.Я., Экогеохимия элементов – примесей в углях. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ. – 2002. – 296с.
11. Платонов А.В., Филонин Е.Н. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / А.В. Платонов, Е.Н. Филонин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – изд. 2-е, испр. – Н.Н, 2012. – 345 с.
12. Рихванов Л.П., Вертман Е.Г., Ершов В.В. и др. Комплексное минералого-геохимическое исследование известных и вновь открываемых месторождений с целью выявления нетрадиционных типов редких, редкоземельных и благородных металлов: Рефераты лучших научных разработок на конкурсе грантов по фундаментальным исследованиям в области геологии. – Москва, 1994. – С. 23-24
13. Рыбалко В.И. «Токсичные элементы-примеси в углях Арктической части Сибири и дальнего востока» Россия в Арктике. XXI век: среда обитания, общество, освоение: материалы I Всероссийской молодёжной конференции, 14-15 июня 2012 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 114-117 с.
14. Тейлор С. Р.» Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ.— М.: Мир, 1988. — 384 с.
15. Угольная база России. Том IV. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (Тунгусский и Таймырский бассейны, месторождения Забайкалья). М.: ЗАО «Геоинформмарк» 2001. – 493 с., ил. (Библиограф. с.488-493).
16. Угольная база России. Том V. Книга 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-восток, о.Сахалин, п-ов Камчатка.) – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999 – 638 с., ил. (Библиогр. 87).

17. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. ISBN 5–7691-1181–X.
18. Dai, S., Graham, I.T., Ward, C.R., 2016. A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. *International journal of coal geology* 159, 82-95.
19. Dai, S., Zhou, Y., Ren, D., Wang, X., Li, D., Zhao, L., 2007. Geochemistry and mineralogy of the Late Permian coals from the Songzo Coalfield, Chongqing, southwestern China. *Science in China Series D: Earth Sciences* 50, 678-688.
20. Finkelman, R.B., 1993. Trace and minor elements in coal. In: Engel, M.H., Macko, S.A. (Eds.), *Organic Geochemistry*. Plenum Press, New York, pp. 593–607.
21. Haskin, L.A., Haskin, M.A., Frey, F.A., Wilderman, T.R., 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: Ahrens LH, Editors. *Origin and distribution of the elements*. Oxford, Pergamon, pp. 889–912.
22. Hower, J.C., Granite, E.J., Mayfield, D.B., Lewis, A.S., Finkelman, R.B., 2016. Notes on contributions to the science of rare earth element enrichment in coal and coal combustion byproducts. *Minerals* 6(2), 32.
23. Mishra, V., Bhowmick, T., Chakravarty, S., Varma, A.K., Sharma, M., 2016. Influence of coal quality on combustion behaviour and mineral phases transformations. *Fuel* 186, 443- 455.
24. Seredin, V.V., 2001. Major regularities of the REE distribution in coal. *Dokl. Earth Sci.* 377 (2), 250–253.
25. Spears D. A. The Role of Seawater on the Trace Element Geochemistry of Some UK Coals and a Tribute to Goldschmidt // *Minerals* 2017, 7, 148; doi:10.3390/min7080148
26. Taylor, S.R., McLennan, S.H., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
27. Tewari, R.C., 1995. Gondwana (Mahadeva) Rocks of Son Valley. *Journal of the Geological Society of India* 45, 65-73.

28. Yudovich, Y.E., Ketris, M.P., 2006. Valuable Trace Elements in Coal. Ekaterinburg. Komi Scientific Center/Institute of Geology/Ural Division, RAS, pp. 1–538 (in Russian)

Нормативные документы

29. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

30. ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

31. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 14.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002

32. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

33. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

34. Нормативный документ N 2455-81 от 20.10.1981 г. Правила устройства, техники безопасности, производственной санитарии, противоэпидемического режима и личной гигиены при работе в лаборатория

35. Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" (утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).

36. Правила противопожарного режима в Российской Федерации. Постановление Правительства Российской Федерации № 390 от 25 апреля 2012 года.

37. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы— Введен: 30.06.2003. М.: Издательство стандартов, 2002. - 14 с.

39. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

40. СНОР-93. Геологоразведочные работы

41. ССН - 92 Выпуск 1. Работы геологического содержания

42. ССН - 92 Выпуск 2. Геолого-экологические работы

43. ССН – 92 Выпуск 7. Геологоразведочные работы

Электронные ресурсы

44. Интернет ресурс: -
http://www.catalogmineralov.ru/deposit/kayakskoe_kotuy_shahta_mestorozhdenie/ . Дата обращения 22.03.2019

45. Интернет ресурс: <https://expert.ru/expert/2017/49/vosem-opor-i-odna-doroga/> Дата обращения 17.03.2019

46. Интернет-источник: <http://nrd.pnpi.spb.ru/nr2/naa.html> , Дата обращения 17.03.2019

47. Интернет-источник:
<https://chem21.info/page/174166209197254021191010128161228203148248014009/> Дата обращения 17.03.2019

48. Интернет-ресурс:
http://miningwiki.ru/wiki/%D0%A8%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0_%C2%AB%D0%9A%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B9%C2%BB . Дата обращения 22.03.2019

49. Интернет-ресурс: http://my.krskstate.ru/docs/raw_materials/rudnik-kayerkanskiy/ - Дата обращения 23.03.2019

50. Интернет-ресурс: <https://severok1979.livejournal.com/170052.html>
Дата обращения 23.03.2019

Приложение А

Раздел 1

Geochemistry of rare earth element.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ЛМ71	Майер Алексей Геннадьевич		

Консультант школы природных ресурсов отделения геологии

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Арбузов С.И.	Д.Г.-М.Н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Уткина А.Н.	к. филос.н.		

Geochemistry of rare earth elements.

On the example of a study by Vivek Mishra, Sanchita Chakravarti, Robert B. Finkelman, Atul Kumar Varma - "Geochemistry of rare-earth elements in the lower coal of the Talkhir coal, India"

Abstract

This study investigated the concentration, distribution, and modes of occurrences of rare earth elements in coal from the Talchir coal basin, Odisha State. This basin comprises two coal bearing Formations i.e. Barakar and Karharbari. Samples, collected from one borehole, were analyzed by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, electron microprobe and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The coals are medium to high volatile, high ash and low sulphur. The Rare Earth Elements and Yttrium (REY) of the 34 coal samples varies from 29.6 ppm to 179.4 ppm with an average value of 91.0 ppm. The average value of total REY of the Barakar Formation (53.6 ppm) is considerably lower than the average value of Karharbari Formation (127.4 ppm). The average of the ratio of light to heavy rare earth elements (LREE/HREE) is also much higher in the Karharbari Formation (8.1) than in the Barakar Formation (4.4). Coals from both Formations show negative europium anomalies while only coals from the Karharbari Formation show a positive cerium anomaly. These differences indicate differences in depositional conditions between the coals of the two Formations within the coal basin. Through EPMA analysis, REY-bearing phosphates are found to be present in this coal in clay minerals. Monazites are found in Mg aluminosilicate matrix as dispersed minerals which may be detrital and monazite-bearing chlorite indicates that the monazites are formed by hydrothermal alteration during coalification. Ag, Ba and Zr are found as replacements or substitution in the REY phosphates.

1. Introduction

The 17 lanthanides or rare earth elements (REEs) are valued for their unique magnetic, phosphorescent, and catalytic properties in numerous products and processes including high-strength magnets, car batteries, and catalysts as well as in defense and consumer electronics [22]. The major controls on the geological and cosmochemical behaviour of the REEs are their size (ionic radius), coordination number, redox potential, volatility and ionic behaviour. Geochemists divide REEs into the light rare earth (LREE i.e. from La to Sm, occasionally with Eu) and heavy rare earth (HREE i.e. from Gd to Lu). Although Y has a lower atomic weight, because of its chemical and physical similarities (ionic radius and charge is similar to Ho) it is commonly grouped with the HREE and, when included, they are referred to as REY [18].

Much of the recent research regarding the genesis, mode of formation and concentration, and distribution of the REEs (LREEs and HREEs) in coal has been conducted in China (Wenhui et al., 2000; Wenfeng et al., 2003; Dai et al., 2006; Zheng et al., 2007; Wang et al., 2008; Sun et al., 2010; Yang et al., 2011; Liu et al., 2014; Wang et al., 2014; Dai et al., 2016). In addition to China, there a number of other places in the world conducting research characterizing the REEs in coal deposits, for example: Iran (Pazand, 2015a, 2015b), Russia (Seredin, 1996; Arbuzov et al., 2018), Bulgaria (Eskenazy, 1987, 2009; Kortenski and Bakardjiev, 1993; Eskenzay and Stefanova, 2007), Ural region (Khassanov et al., 2014), Nova Scotia (Birk and White, 1991), U.S. Pennsylvania (Schatzel and Stewart, 2003), Kentucky (Hower et al., 2016b; Lin et al., 2017).

However, there are no publications describing the REEs' concentrations, distributions and modes of occurrence in Indian coal though India has a huge coal deposits and is now the world's second largest producer of coal behind only China (IEA, 2018). A set of thirty-four (34) coal samples from one borehole were used for the different analytical tests such as proximate, ultimate and ash analyses, X-ray diffraction (XRD), microprobe analysis (EPMA) and inductively coupled plasma

mass spectrometry (ICP-MS). EPMA and XRD analyses have been carried out to determine the mineralogy and modes of occurrences of REY in these coals.

2. Geological Settings

Geographically, the Talchir coal basin lies between latitude 20°45' to 21°15' N and longitude 84°30' to 85°15' E (Fig. 1). The coal basin area covers 1810 km², parts of Dhenkanal, Angul and Sambalpur districts in the state of Odisha. The Talchir coal basin is located north of the Mahanadi River and occupies the valley of the Brahmani River which drains directly into the Bay of Bengal, north of the Mahanadi delta. The coal basin occurs as a detached elliptical basin surrounded by metamorphic rocks of Precambrian age and represents the south-eastern member of the Lower Gondwana basin within the Mahanadi valley graben. In the Talchir coal basin the Gondwana sediments range in age from Upper Carboniferous to Upper Triassic.

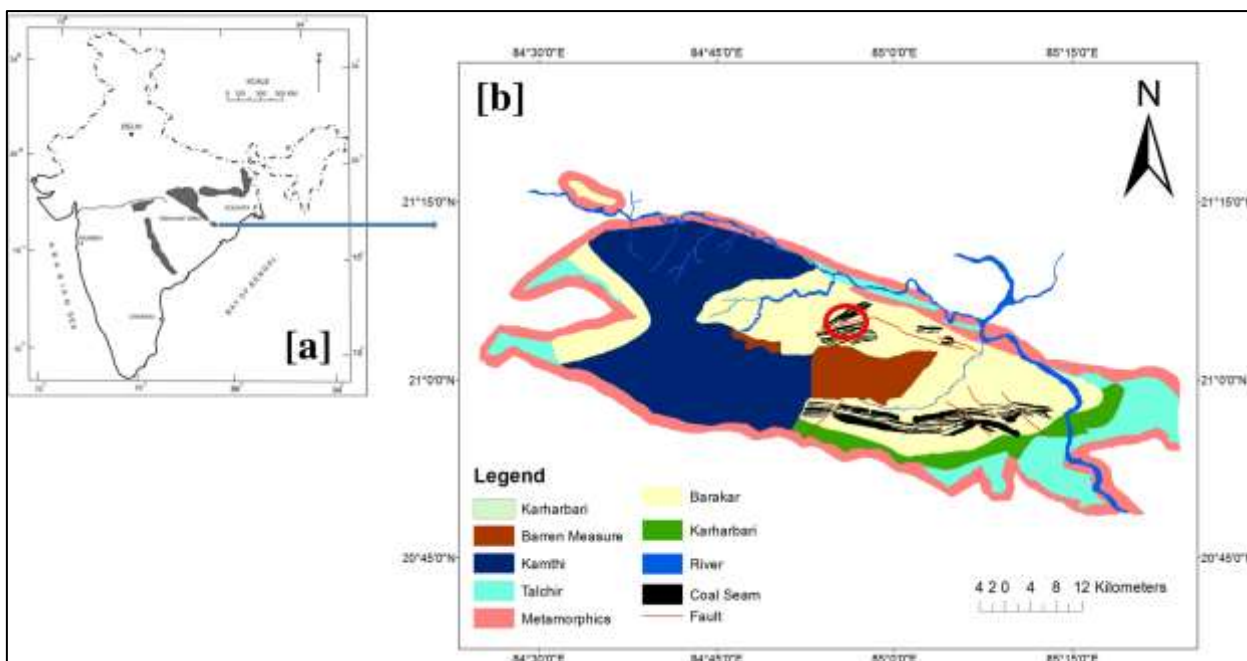


Figure 1

The Gondwana sediments of the Talchir coal basin are represented by the succession of Talchir, Karharbari, Barakar, Barren measures and the Kamthi Formation. The Karharbari and the Barakar Formations are the major coal-bearing formations in the Talchir coal basin.

The coals analyzed for this study are from the Karharbari and Barakar Formations. The lithologies of the Karharbari Formation have been divided into five facies i.e. coarse-, medium-, fine-grained sandstones, shale and coal with fining upward cycles. A complete cycle consists of conglomerate bed at the base succeeded by medium- and fine-grained sandstones, shale and coal at the top. Sandstones (> 90%) are the chief constituents of the Karharbari Formation. The formation is composed of sandstones with different textures and structures, grey and carbonaceous shales and one coal seam. Conglomerates and sandstones are the dominant rock types. The presence of tabular and trough cross beddings in large quantities indicates that the likely origin of the Karharbari Formation is from braided streams [27].

3. Sampling, Distribution and Analytical Methods

Coal and shaly coals were collected from the Talchir coal basin. The collected samples are from a borehole in the Barakar Formation (Coal samples B1 to B29) and Karharbari Formation (coal samples K30 to K34) (Fig. 2). Thirty-four drill core composites were prepared from the coal and shaly coal bands in accordance to the

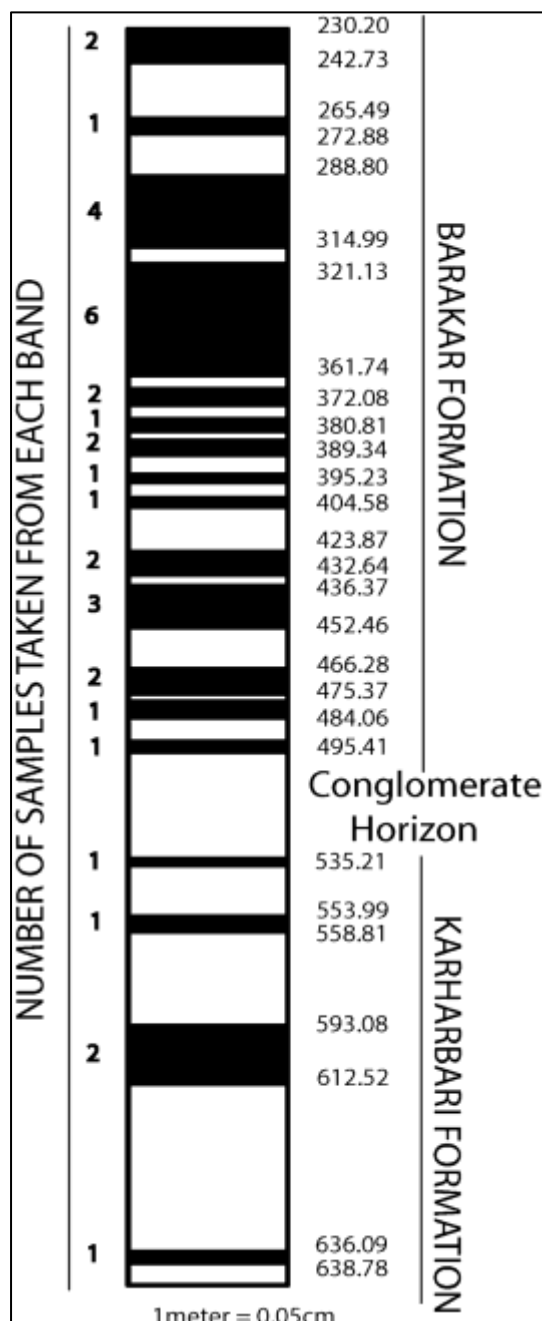


Figure 2

sampling method described by Mishra et al. [23]. This is the standard method in India practiced by Coal India Limited. The coal and shaly coal bands are selected at intervals of equal depth (~ 5m) and each representative sample of a particular depth is prepared by taking a definite proportion from each band. All the prepared samples were carefully mixed and stored immediately in a sealed container to prevent contamination and weathering.

In the laboratory the samples were air-dried, milled and split by coning-quartering, pulverised, and passed through a sieve shaker with sieves of different sizes for the various analytical tests. Subsequently, the 34 samples were used for evaluating the physical and chemical properties of the Talchir coal. Thermogravimetric Analyser (TGA – 1000) did the technological properties viz. moisture content, volatile matter yield and ash yield on -212 microns (72 mesh) size samples. Carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N) were determined using an elemental analyser (Leco CHN628,

LECO Corporation, USA) and total sulphur by a sulphur analyser (Leco S-144DR,

LECO Corporation, USA). The mineralogical phases were determined by powder X-ray diffraction (XRD) with Ni-filtered $\text{CuK}\alpha$ radiation at $(10^\circ\text{--}70^\circ)/(2\theta)$ at a scan rate of $2^\circ/\text{min}$ (D8 Discover Bruker) of the raw coal. Phase identification was verified by comparison to the International Centre for Diffraction Data (ICDD) inorganic compound database.

4. Results and Discussion

4.1. Elemental Properties

Further presents the result of the proximate and ultimate analysis with gross calorific values (GCV) of the studied samples. The volatile matter of all 34 coal samples ranged from 39 wt% to 52 wt% on a dry ash free basis, moisture ranged from 2.42 wt% to 6.09 wt% on an air dry basis and the ash yield ranged from 29.2 wt% to 51.7 wt% on a dry basis. The samples are characterized by high carbon value i.e. from 65.7 wt% to 78.7 wt% and sulphur contents from 0.84 wt% to 1.28 wt%. Calorific values range from 3121 to 5154 cal/g, which affirm that the rank of studied coal samples varies from lignite to sub-bituminous type (ASTM D388–12).

4.2. Chemistry and Mineralogy

Further presented, the results of the major element analysis. The results indicate a predominance of alumino-silicates, probably represented mainly by clay minerals and quartz as SiO_2 and Al_2O_3 constitute more than 80 wt% of the ashes, whereas Fe_2O_3 is typically 1.94-8.07 wt%, and that of K_2O is around 1-2 wt%. The SO_3 retained in the ashes varies from 0.27 to 1.35 wt%. The S probably originated from pyrite and from sulphates, as well as from the organic sulphur. SiO_2 and Al_2O_3 vary between 59.6-73.3 and 18.3-26.2 wt% respectively while P_2O_5 varies between 0.06 and 1.29 wt% and CaO varies between 0.14 and 1.66 wt% and MgO is <1 wt% in the coal sample ash. However, silica and alumina are negatively correlated with each other (Fig. 3) which implies that, in these samples, most of the silica is present as quartz instead of clays or other aluminosilicates. Furthermore, calcium and phosphate are positively correlated (Fig. 3) likely signifying the presence of apatite

in this coal. According to XRD results, quartz and clay minerals i.e. kaolinite, illite and montmorillonite are present in all the samples. Other minerals that may be present include pyrite, and goethite.

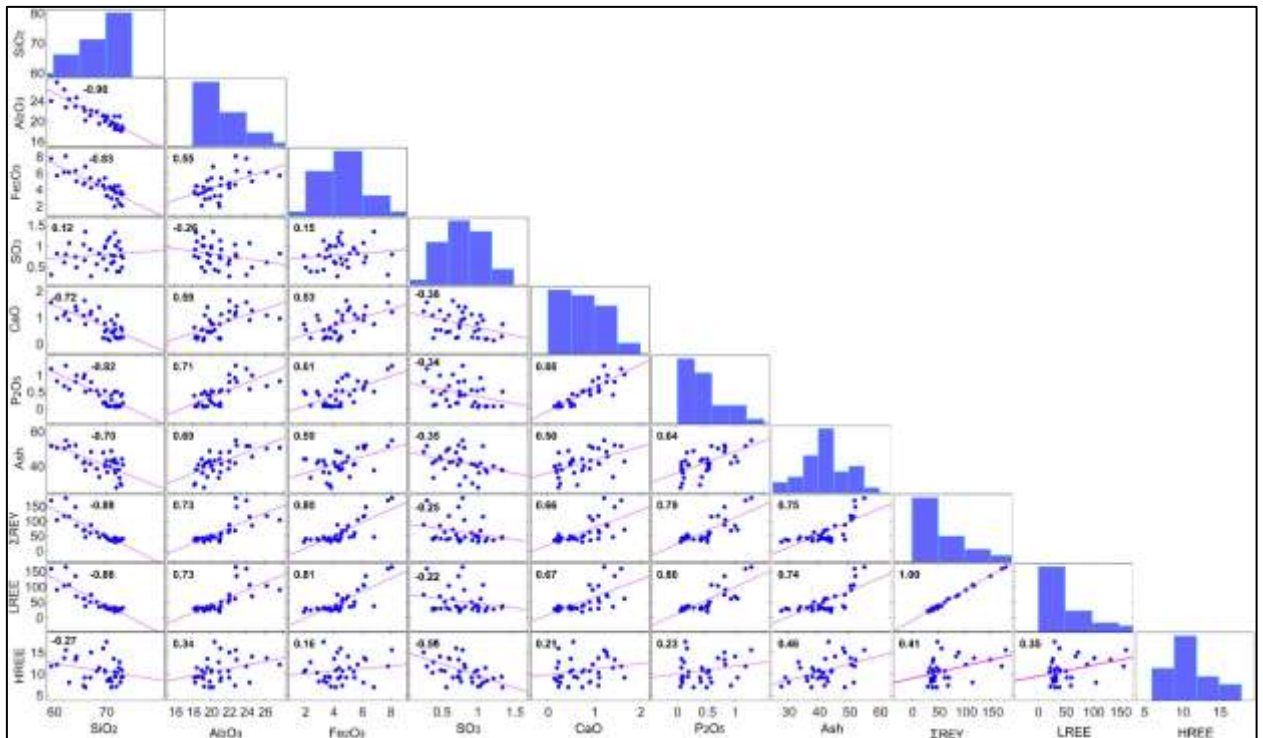


Figure 3

4.3. REE Parameters and Distribution

The total REY content (Σ REY) of the 34 coal samples varies considerably with depth ranging from 29.6 ppm to 179 ppm with an average value of 91.0 ppm which is slightly higher than the average total REY content in US coals (62.1 ppm; [20]) and worldwide bituminous coal and anthracite (68.5 ppm; [28]), but lower than that in average total of Chinese coals (137.9 ppm; [19]). The average value of total REY of the Barakar Formation (Sample B1 to Sample B29; avg. Σ REY=53.6 ppm) is considerably lower than the average value of Karharbari Formation (Sample K30 to Sample K34; avg. Σ REY=127.4 ppm). This is due to the high concentration of LREE in the Karharbari Formation, specifically La and Ce. The average values of La and Ce in the Barakar Formation are 8.5 and 7.1 ppm respectively while in Karharbari Formation they are 36.6 and 53.6 ppm respectively. Sample K34 has a

total REY of 179.4 ppm which is slightly higher than the total REY (173.2 ppm) in North American Shale Composite (NASC) [21] with 50.1 ppm La and 89.6 ppm Ce.

The LREE/HREE ratio varies from 2.0 to 13.4 with an average of 4.9. The LREE/HREE of Sample B2 from the Barakar Formation and Sample K33 from the Karharbari Formation are marked by a higher value than the other samples. The average of LREE/HREE is also much higher in the Karharbari Formation (8.1) than in the Barakar Formation (4.4) due to the presence of high LREE (La and Ce particularly). From top to bottom Samples B2 and B28 from the Barakar Formation; Samples K32, K33 and K34 from the Karharbari Formation shows LREE enriched type patterns. This indicates the source region may be of felsic composition as weathering of felsic rocks can cause of the enrichments of LREEs in the residue. In these samples Σ REY are 116 ppm, 119 ppm, 149 ppm, 171 ppm and 179 ppm respectively whereas the Σ LREE are 108 ppm, 105 ppm, 136 ppm, 160 ppm and 164 ppm respectively. Also, the LREE/HREE is marked by an increased value in between 7 to 13. The (La/Yb) N value also lies in between 2 to 7 for Samples B2, B28, K32, K33 and K34. The average value of (La/Yb) N of all 34-coal samples is 1.4 indicating a relative enrichment of LREE compared to Upper Continental Crust (UCC) [26]. The average value of (La/Yb) N, in the Karharbari Formation, is twice that of the Barakar Formation. Vertical variation of LaN/YbN shows as well the increment of LREE in shallow depth and at a depth of about 613m.

The negative Eu anomaly of the majority of coal samples (EuN/EuN^*) ranges from 0.02 to 1.6 with an average of 0.28 indicating that the source region is of felsic composition with a depleted Eu anomaly due to fractional crystallization of feldspar or partial melting. Eu mobility during coal formation is another possible explanation for negative anomalies. Strongly reducing environments with low temperatures favours the mobility of Eu during coal formation. However, Sample K34 from the Karharbari Formation, has a EuN/EuN^* value more than 1 implying possible occurrences of hydrothermal fluids having a temperature $>200^\circ\text{C}$ within the source area or presence of Ca rich minerals like apatite, plagioclase feldspar etc. Sample K34 is the lowermost sample of the borehole and it is possible that the fluids came

from below or were active at the very beginning of the peat formation. Further, the coal samples displayed negative Ce anomalies (CeN/CeN^*) value ranging from 0.09 to 1.5 with an average value of 0.30 (Fig.4); However, the Karharbari Formation does not show any Ce anomalies with an average (avg. CeN/CeN^* value of 1.1) while the Barkar Formation shows a Ce negative anomaly (avg. CeN/CeN^* value is 0.16). All the samples of the Barakar Formation show negative Ce anomalies. Typical CeN/CeN^* values are <0.5 in oxic marine water, $\sim 0.6-0.9$ in suboxic marine water, and $\sim 0.9-1.0$ in anoxic marine water. Hence, it can be said that the depositional conditions for the coals of the both Formations are different. During Barakar Formation, marine incursion is the probable reason for this cerium negative anomaly. Goswami (2008) also reported that Talchir coal basin contains marine signatures through palynological study. However, felsic rocks give negative Ce anomalies as well. Hence, inputs of these materials contribute to an increment of Ce anomalies. Weathering and oxidation of Ce^{+3} to Ce^{+4} , its relative immobility and in-situ precipitation leads to negative anomalies of Ce in coal.

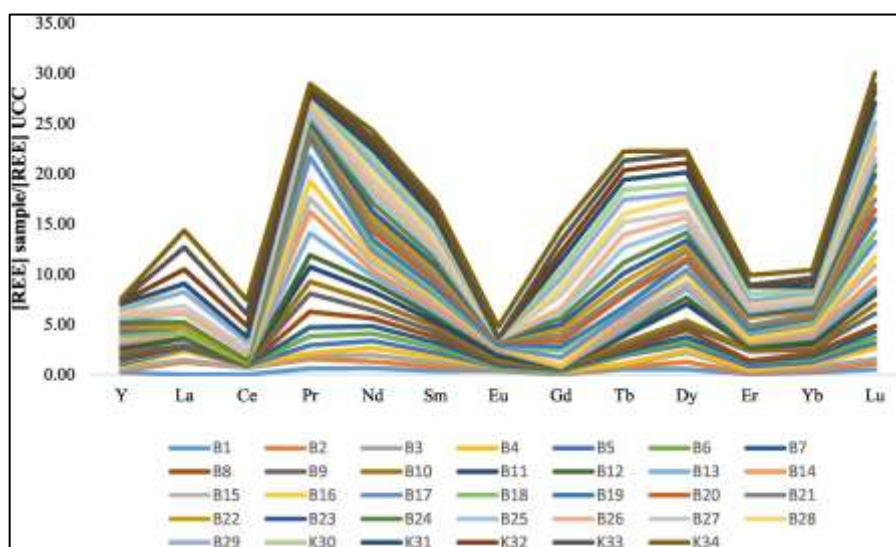


Figure 4

4.4. Modes of Occurrences

Through EPMA analysis, the association of minerals and the modes of occurrences of various elements present in coal can be determined. Here, REY-bearing phosphates are found to be present in this coal in clay minerals. Monazites

are found in Mg aluminosilicate matrix as dispersed minerals which may be detrital. The positive correlation of the LREE with phosphorus (Fig. 3) is observed through EPMA elemental mapping as well. The association of the REY in coal with fine-grained phosphates has also been observed by Finkelman (1982) and Wang et al. (2008). Monazite was also observed in chlorite indicating that the monazites are formed due to hydrothermal alteration during coalification. Ag, Ba and Zr were found as replacements or substitution in REY phosphates. Occurrences of monazite within chlorite are consistent with the positive correlations of iron with phosphorus and LREE (Fig. 3).

As marine influence may affected the seam environment of the Barakar Formation, authigenic minerals such as clays and phosphates constitute a very small portion of the total rare earth elements present in the samples. The minerals containing REY also undergo phase changes as well as alterations. Thus, some of the REY may be externally modified and mobilized during diagenesis or some redistributed within coal or incorporated into authigenic other minerals.

The total REY content is positively correlated with the total ash yield (Fig. 3) but SiO₂ is negatively correlated with Σ REY content (Fig. 3). This relationship is likely due to the presence of vein-filling epigenetic quartz (Fig. 9). Significant correlations of LREE with Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, P₂O₅ (Fig. 3) indicate the derivation of the REY phases from terrigenous detrital sources. Positive correlation of HREE with Al₂O₃ (Fig. 3) also acts as a supportive for a detrital source while negative correlation has been found between the HREE and SO₃ (Fig. 3).

5. Conclusions

The determination of the rare earth elements concentration and modes of occurrence in coals from a borehole in the Talchir Coal Basin, India provides the first characterization of the REE in Indian coals. The average value for total REY in these samples is 91 ppm which is slightly higher than the average for U.S coals and worldwide bituminous coals but lower than the average for Chinese coals. The average for the overlying Barakar Formation coals (53.6 ppm) is less than half of the

average of the underlying Karharbari Formation coals (127 ppm). The difference is due, in part, to the higher ash yield of the Karharbari coals (50.2 to 40.7) and, in part, to the higher concentration of light REE in the Karharbari coals. The negative correlation with sulfate and positive correlation with ash yield and most lithophile elements indicate a detrital source for the REE. The strong negative correlation with SiO₂ indicates that the quartz was derived from a different source. The negative Eu anomaly for almost all coal samples indicates a felsic source. The Barakar coals display a negative Ce anomaly whereas most of the Karharbari coals do not have negative Ce anomalies. They interpret this to indicate different depositional conditions. During Barakar time there may have been marine (saline water) intrusions.