

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD

по направлению подготовки:

8D072 – «Производственные и обрабатывающие отрасли», образовательной программе:

8D07201 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

БЛЯЛОВА ГУЛИМ ГАЛЫМЖАНОВНА

Исследование влияния геодинамических процессов на накопление элементов-примесей в угленосных формациях мезозоя Центрального Казахстана для разработки прогнозных критериев

Актуальность диссертационной работы. Уголь в современных условиях следует рассматривать не только как традиционный источник первичной энергии, но и как важный минерально-сырьевой ресурс мировой экономики, играющий значимую роль в развитии многих стран, включая Республику Казахстан. Несмотря на устойчивую тенденцию к снижению доли угля в глобальном энергетическом балансе, его потребление в средне- и долгосрочной перспективе сохраняет стратегическое значение, что обусловлено стабильным спросом, развитой инфраструктурой и высокой обеспеченностью ресурсной базы.

Казахстан, являясь одним из крупнейших эмитентов парниковых газов в Центральной Азии, последовательно интегрируется в глобальную климатическую повестку. Ратификация Парижского соглашения в 2016 году, а также объявленная в 2020 году *Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года* определили необходимость трансформации национального энергетического сектора. Одновременно в рамках *Национального проекта «Зелёный Казахстан»* и документов, регламентирующих развитие минерально-сырьевого комплекса, подчёркивается необходимость научно обоснованного и комплексного использования традиционных видов сырья, включая уголь, в переходный период к низкоуглеродной энергетике. В этих условиях угольные месторождения рассматриваются не только как источник энергии, но и как объект углублённых геолого-геохимических исследований, направленных на выявление дополнительных ресурсных и прогнозно-поисковых возможностей.

В этой связи особую *актуальность* приобретает комплексное геохимическое исследование углей как минерального сырья, включающее анализ распределения элементов-примесей и минеральных форм их нахождения, которые являются важнейшими индикаторами условий формирования угленосных формаций. Содержание и геохимическая специализация редкоземельных и сопутствующих элементов в углях отражают особенности источников вещества, гидрогеохимическую обстановку торфяников, а также геодинамические условия осадконакопления и последующей эволюции угленосных бассейнов.

В условиях развития современных концепций глобальной геотектоники и теории углеобразования, рассматривающих формирование угольных месторождений как элемент единого процесса эволюции литосферы, возрастает значимость анализа угленосных формаций с позиций актуальных геодинамических моделей. Для мезозойских угленосных формаций Центрального Казахстана, сформированных в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса, определяющее значение имели унаследованные разломно-блоковые структуры и постколлизийные геодинамические процессы, контролировавшие subsidencию бассейнов, фациальную дифференциацию осадков и условия накопления элементов-примесей в углях.

Особый научный и практический интерес представляют редкоземельные элементы в углях, которые, с одной стороны, являются информативными геохимическими индикаторами палеоокислительно-восстановительных и гидрогеохимических условий, а с другой – рассматриваются как потенциальный нетрадиционный источник стратегически значимого минерального сырья. В этой связи актуальной задачей является разработка научно обоснованных прогнозных критериев выявления угленосных формаций с повышенными содержаниями элементов-примесей на основе интеграции геохимических, минералогических и геодинамических данных.

Исследование влияния геодинамических процессов на накопление элементов-примесей в угленосных формациях мезозоя Центрального Казахстана является актуальной научной и прикладной задачей, имеющей фундаментальное значение для развития угольной геологии и геохимии, а также практическую значимость для прогнозных-поисковых и оценочных работ в условиях трансформации энергетической стратегии Республики Казахстан.

Цель работы – установление геохимических и минералогических закономерностей накопления и форм нахождения элементов-примесей в углях мезозойских угленосных формаций Центрального Казахстана для обоснования их связи с геодинамическими условиями формирования угленосных бассейнов и на основе этого разработка прогнозных критериев.

Для достижения поставленной цели в работе предусматривалось решение следующих **задач**:

1. Проанализировать современное состояние изученности геохимии и минералогии элементов-примесей в углях, а также существующие представления о роли геодинамических факторов в формировании угленосных формаций мезозоя с учётом унаследованных разломно-блоковых структур Центрального Казахстана.

2. Изучить геохимический и минералогический состав углей исследуемых формаций и установить закономерности распределения элементов-примесей, определить минеральные формы нахождения в зависимости от литолого-фациальных условий формирования и положения в разрезе.

3. На основе статистической обработки геохимических данных установить устойчивые ассоциации элементов и факторов, контролирующих

их накопление (корреляционный, кластерный и факторный анализы), а также выявить взаимосвязь геохимических и минералогических особенностей углей с геодинамическими условиями формирования и эволюции угленосных бассейнов мезозоя Центрального Казахстана.

4. Разработать прогнозные геохимические и минералогические критерии выявления угленосных формаций с повышенными содержаниями элементов-примесей.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлена закономерность пространственного распределения геохимических и минералогических примесей в мезозойских углях ЦК со структурно-геодинамическими факторами, при этом состав углей определяется палеоклиматическими условиями.

2. Установлены геохимические и минералогические индикаторы условий формирования редких элементов и РЗЭ под влиянием тектонической активизации (цинкит, сульфид кадмия) и дополнительного обогащения углей гидротермальными и вулканогенными флюидами.

3. Установлена закономерность формирования элементов примесей и их генетических типов под влиянием тектонически активной обстановки, формирующей устойчивые геохимические и минералогические ассоциации и определяющей геохимическую специализацию юрских углей месторождений ЦК.

4. Разработан комплекс геодинамических, геохимических и минералогических признаков для прогноза зон локального накопления РЗЭ и сопутствующих элементов в угленосных формациях мезозоя ЦК.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Мезозойское углеобразование Центрального Казахстана носило тектонически обусловленный характер и контролировалось унаследованным разломно-блоковым строением Центрально-Азиатского складчатого пояса, что отражается в распределении геохимических и минералогических характеристик углей. В условиях пульсационного режима субсиденции постколлизийных прогибов тектонический фактор определял геохимическую специализацию угленосных формаций, тогда как климатические условия носили подчиненный, модифицирующий характер.

2. Установлено, редкоземельные и сопутствующие элементы в мезозойских углях Центрального Казахстана локализируются преимущественно в аутигенных минеральных фазах (фосфатных, глинистых, сульфидных), а их накопление связано с тектонической активизацией и поступлением гидротермальных и вулканогенных флюидов, что подтверждается минеральными индикаторами и геохимическими ассоциациями.

3. Химический состав углей Шубаркольского месторождения характеризуется устойчивыми геохимическими и минералогическими ассоциациями элементов-примесей и их вертикальной и латеральной зональностью, обусловленными сочетанием литогенных, сорбционно-хемогенных и эпигенетических процессов, что подтверждено результатами кластерного и факторного анализа.

4. Разработан и обоснован комплекс геодинамических, геохимических и минералогических критериев выявления зон локального накопления редкоземельных и сопутствующих элементов-примесей в угленосных формациях мезозоя Центрального Казахстана; применимость комплекса подтверждена на примере Шубаркольского месторождения и Майкубеньского угольного бассейна, при этом геохимическая специализация юрских углей, включая распределение редкоземельных элементов и аномалии церия и европия, отражает влияние геодинамических и гидрогеохимических условий осадконакопления и диагенеза.

Автор защищает:

1. Тектонически обусловленный характер мезозойского углеобразования Центрального Казахстана, контролируемый унаследованным разломно-блоковым строением Центрально-Азиатского складчатого пояса, с ведущей ролью тектонического фактора в формировании геохимической специализации угленосных формаций при подчинённом влиянии климатических условий.

2. Преимущественную локализацию редкоземельных и сопутствующих элементов в аутигенных минеральных фазах мезозойских углей Центрального Казахстана и их генетическую связь с процессами тектонической активизации, сопровождавшимися поступлением гидротермальных и вулканогенных флюидов.

3. Закономерности геохимической и минералогической организации углей Шубаркольского месторождения, выраженные в устойчивых ассоциациях элементов-примесей и их вертикальной и латеральной зональности, сформированной под влиянием литогенных, сорбционно-хемогенных и эпигенетических процессов.

4. Комплекс геодинамических, геохимических и минералогических критериев выявления зон локального накопления редкоземельных и сопутствующих элементов в мезозойских угленосных формациях Центрального Казахстана, подтверждённый на примере Шубаркольского месторождения и Майкубеньского угольного бассейна.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу работы положены материалы, полученные автором за период обучения в докторантуре, а также в результате выполнения научно-исследовательских работ в рамках проектов, выполненных на кафедре «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», финансируемых Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан в качестве исполнителя:

1. AP08052608 договор № 64-1 от 15 мая 2020 г. (2020-2022 гг.);
2. AP13067779 договор № 120-КМУЗ от 20 мая 2022 г. (2022-2024 гг.);
3. AP26102801 договор № 309/25-27 от 29 сентября 2025 г. (2025-2027 гг.)

Часть аналитических исследований выполнялись автором самостоятельно, включая проведение процедур химической пробоподготовки углей и углистых пород с использованием азотной, хлорной и плавиковой кислот, а также определение элементного состава методами ICP-OES и ICP-

MS на спектрометре 7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, USA) и ICP-MS спектрометре Agilent 7700 (Agilent Technologies, USA) при помощи аналитика Зарубиной Н.В. в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток).

Научная стажировка пройдена в Российской Федерации, г. Казань, в Институте геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета в период с 23 мая по 3 июня 2023 г. В ходе стажировки были получены консультации по теме диссертационного исследования у доктора геолого-минералогических наук, профессора Сунгатуллина Р.Х. По результатам стажировки получен сертификат об успешном её прохождении.

В период научной стажировки совместно с зарубежным научным руководителем, профессором Сунгатуллиным Р.Х., выполнены кластерный и факторный анализы геохимических данных, а также проведена интерпретация полученных результатов. По итогам выполненных исследований опубликована совместная работа в высокорейтинговом научном журнале.

Достоверность выводов диссертации обеспечивается корректной постановкой задач, применением современных методов исследования и согласованием полученных результатов с аналитическими данными, включающих результаты анализа 140 проб углей и углевмещающих пород, полученных в ходе полевых исследований со строгой стратиграфической привязкой, а также применением комплекса современных, высокоточных и взаимодополняющих геохимических и минералогических методов, широко используемых в международной научной практике. Надёжность аналитических данных подтверждена использованием сертифицированных стандартных образцов, межметодическим сопоставлением результатов (ICP-AES, ICP-MS, ИНАА, SEM-EDS, XRD), проведением параллельных измерений и статистической обработкой данных с применением корреляционного, кластерного и факторного анализа. Интерпретация полученных результатов выполнена с учётом современных представлений об угольной геологии, геохимии и геодинамической эволюции угленосных бассейнов, что обеспечивает обоснованность и воспроизводимость полученных выводов.

Основные положения диссертации были опубликованы в научных статьях и тезисах докладов, а также имеется патент и свидетельства о государственной регистрации прав на объекты авторского права.

Все разделы диссертации выполнены в методической последовательности и логически взаимосвязаны, что обеспечивает целостность исследования и поэтапное решение поставленных научных задач, от сбора и анализа фактического материала до обобщения результатов и формулирования научно обоснованных выводов. Структура работы отражает концепцию исследования, а используемые методы и подходы адекватны целям и задачам диссертационного исследования и соответствуют современному уровню развития угольной геологии и геохимии.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном сборе и систематизации фактического материала, обработке геологических данных и

результатов лабораторных исследований, проведении пробоподготовки и определении элементного состава углей методами ICP-OES и ICP-MS с использованием стандартных образцов, а также в подготовке и интерпретации схем, диаграмм, графиков и картографических материалов с применением современных программных средств (Microsoft Excel, CorelDRAW, AutoCAD, QGIS). Автором также выполнен анализ материалов по глубинному строению и геодинамическому развитию региона с опорой на современные теоретические представления, что позволило сформулировать обоснованные научные выводы и практические рекомендации.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования были апробированы и опубликованы в серии научных работ, отражающих основные положения и выводы настоящей диссертации. В период 2021-2025 гг. автором опубликовано 15 научных статей, в том числе в рецензируемых международных и отечественных журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

Из них 6 статьи в международных рецензируемых научных журналах (*Web of Science Core Collection, Scopus*):

1) Blyalova G., Amangeldykyzy A., Kopybayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan // *Minerals*. – 2025. – Т. 15. – №. 2. – С. 170. <https://doi.org/10.3390/min15020170>

2) Копобаева А.Н., Блялова Г.Г., Амангелдіқызы А., Сунгатуллин Р.Х., Оразбек Н. Геохимические особенности Майкубенского угольного бассейна (Казахстан) // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2025. – № 9. – С. 135–150. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_9_0_135.

3) Kopybayeva A.N., Amangeldikyzy A., Blyalova G.G., Askarova N.S. Mineralogical and geochemical features of coals and clay layers of the Karaganda coal basin // *Minerals*. – 2024. – Т. 14. – №. 4. – С. 349. <https://doi.org/10.3390/min14040349>

4) Kopybayeva A.N., Amangeldikyzy A., Blyalova G.G., Askarova N.S. Features of rare earth elements geochemistry in coals of Central Kazakhstan. // *Acta Geochimica* – 2024. 43(5), 876-888. <https://doi.org/10.1007/s11631-024-00677-3>

5) Kopybayeva A.N., Blyalova G.G., Bakyt A., Portnov V.S., Amangeldikyzy A. The nature of rare earth elements accumulation in clay layers and coals of the Shubarkol deposit // *News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. – 2022; № 2(452). – P. 117-130. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170x.164>

6) Amangeldykyzy A. Kopybayeva A.N., Bakyt A., Ozhigin D.S. Blyalova G.G., Mineralogy and geochemistry of the Shubarkol deposit Jurassic coals // *News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. – 2021. – Т. 5. – С. 23-31. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.94>

4 статьи в изданиях, рекомендуемых уполномоченным органом:

1) Blyalova G.G., Kopybayeva A.N., Amangeldykyzy A., Askarova N.S., Ozhigin D.S. (2023). Ways of rare earth elements migration and transportation to

the coals of the Shubarkol deposit. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syrа= Complex use of mineral resources*, 324(1), 24-33.

2) Amangeldikyzy A., Kopybayeva A.N., Blyalova G.G., Askarova, N.S. (2023). Geochemical speciation of coals in the Karaganda coal Basin. *Min. J. Kazakhstan*, 7, 15-20.

3) Kopybayeva A.N., Baydauletova I.V., Amangeldikyzy A., Askarova N.S., Blyalova, G.G. (2025). Nature of ree accumulation in clayey interlayers and coals in Karaganda coal basin. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syrа= Complex use of mineral resources*, 332(1), 49-61.

4) Kopybayeva A., Amangeldikyzy A., Blyalova G., Askarova N. Study of the Distribution of Impurity Elements in Coals and Clay Layers of the Karaganda Coal Basin // Труды университета. – 2023. №3 (92) – С. 151-156. DOI 10.52209/1609-1825_2023_3_151.

А также были представлены в виде докладов на международных научно-практических конференциях:

1) Kabyken A., Kopybayeva A., Amangeldikyzy A., Blyalova G., Askarova N. Ulgibayeva B. (2024, October). A Tool for Analyzing Geological Data Using the Grade Copilot Neural Network Within the Micromine Software. In *2024 IEEE 6th International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI)* (pp. 000015-000018). IEEE.

2) Копобаева А.Н., Амангелдіқызы А., Блялова Г.Г. Особенности геохимии РЗЭ в углях Центрального Казахстана // Международная научно-практическая конференция «К.И. Сатпаев и науки о Земле», Алматы 2024. С. 174-178.

3) Копобаева А.Н., Блялова Г.Г. *Представление о геодинамических обстановках углеобразования месторождения Шубарколь*. Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (XIV Сагиновские чтения), 2022г., г. Караганда, Казахстан. С. 61–63. ISBN 978-601-320-725-4.

4) Копобаева А.Н., Блялова Г.Г. *Источники поступления элементов-примесей в угли Шубаркольского месторождения*. Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства» (XV Сагиновские чтения), посвящённая 70-летию Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова, 2023 г., г. Караганда, Казахстан. С. 455–458. ISBN 978-601-320-906-7.

5) Копобаева А.Н., Блялова Г.Г. *Условия накопления угленосных отложений мезозоя Центрального Казахстана*. Труды Международной научно-практической конференции «XVI Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», 2024 г., г. Караганда, Казахстан. Ч. 2, с. 518–520. ISBN 978-601-355-377-1.

Результаты исследований внедрены в АО «Шубарколь Комир». Имеется акт внедрения. Основные положения диссертации апробированы в ходе научных стажировок, а также при выполнении научно-исследовательских работ, связанных с изучением геохимических особенностей углей Шубаркольского и Майкубеньского угольных бассейнов.

Методика исследований. Методологическая база сформирована с учётом действующих нормативных документов и современных международных подходов, принятых в угольной геологии и геохимии. При проведении исследований и подготовке диссертации широко использовались опубликованные, фондовые материалы и новейшие геолого-геохимические, минералогические данные по вопросам методики проведения, обработки и интерпретации аналитических данных с применением современных компьютерных технологий на аналогичных мировых и казахстанских месторождениях угля.

Исследование носит междисциплинарный характер, поскольку основано на интеграции методов геохимии, минералогии углей и углевмещающих пород, геологии угольных месторождений и математической статистики, что позволило комплексно оценить элементный состав углей, формы нахождения химических элементов и условия их формирования.

Полевые исследования включали детальное бороздовое опробование угольных пластов и углевмещающих пород с соблюдением требований репрезентативности и строгой стратиграфической привязки, что обеспечило формирование достоверной и сопоставимой выборки.

Лабораторные исследования основаны на применении современных высокоточных аналитических методов, широко используемых в международной геохимической практике. Основными методами определения элементного составов являлись методы ICP-AES на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, США) и ICP-MS на спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония) в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Контроль качества аналитических данных осуществлялся с использованием стандартных образцов углей CLB-1 и SARM-19 (Геологическая служба США), а также путём параллельных измерений и сопоставления результатов для ключевых элементов. Дополнительно элементный состав проб определялся методом инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА), выполненный в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории НИ ТПУ с использованием исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т, что позволило определить содержания 28 элементов, включая редкоземельные и редкие элементы.

Минералогические формы нахождения элементов-примесей изучены с использованием комплекса современных минералогических методов, что позволило установить связь распределения элементов с органической и минеральной составляющими углей на микроуровне и обеспечить идентификацию минеральных ассоциаций и микрофаз, используемых в качестве минералогических индикаторов условий осадконакопления и постседиментационных преобразований. В исследовании применялись следующие методы и приборные комплексы:

– порошковая рентгеновская дифрактометрия (XRD) на дифрактометре ДРОН-3М; съёмка дифрактограмм выполнялась с использованием программного комплекса DIFRAC.Measurement, расшифровка дифрактограмм

и идентификация минеральных фаз осуществлялись с применением программ EVA и TOPAS; работы проводились в НИ ТПУ (г. Томск, Россия);

– сканирующая электронная микроскопия (SEM-EDS) на микроскопе Hitachi S-3400N, оснащённом энергодисперсионным спектрометром Bruker X@Flash 5010, для проведения рентгеноспектрального микроанализа; исследования выполнены в НИ ТПУ (г. Томск, Россия);

– аналитическая сканирующая электронная микроскопия (SEM-EDS) на микроскопе JEOL JSM-6490LV с ЭДС INCA Energy X-Max, а также на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе Tescan Lyra 3 XMH, укомплектованном ЭДС-спектрометром AZtec X-Max 80 Standart; исследования проведены в лаборатории микро- и наноисследований Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток, Россия).

Обработка и интерпретация результатов выполнены с применением корреляционного, кластерного и факторного анализа (STATISTICA 10), что обеспечило объективную интерпретацию результатов в контексте геодинамической эволюции угленосных бассейнов и позволило обосновать научно подтверждённые прогнозные критерии накопления элементов-примесей в углях.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования полученных результатов при прогнозно-поисковых и оценочных работах на угленосных площадях. Разработанные геохимические и минералогические критерии, апробированные на углях Центрального Казахстана, могут быть адаптированы для применения к угленосным формациям различного возраста с учётом их геолого-структурных и литолого-фациальных особенностей. Результаты исследования могут быть использованы в геологоразведочной практике, научно-исследовательских работах и в образовательном процессе при подготовке специалистов геологического профиля. Результаты научных исследований внедрены в производство АО «Шубарколь комир».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников. Общий объём диссертации составляет 166 страниц машинописного текста, включая 66 рисунков и 18 таблиц. Список использованных источников включает 109 наименований, в том числе работы отечественных и зарубежных авторов.

Краткое содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

В первой главе выполнен анализ современного состояния изученности угленосных формаций Центрального Казахстана, рассмотрены стратиграфические и литолого-фациальные особенности мезозойских угленосных толщ, а также существующие концепции геодинамического развития региона. Показано, что формирование угленосных бассейнов тесно связано с постколлизийными геодинамическими процессами и унаследованным разломно-блоковым строением.

Во второй главе изложена методика исследований и аналитическое обеспечение геохимических и минералогических работ. Описаны методы отбора и подготовки проб, аналитические методы определения элементного состава углей и углевмещающих пород, а также методы статистической обработки данных, обеспечившие достоверность и воспроизводимость полученных результатов.

В третьей главе рассмотрена геодинамическая эволюция Центрального Казахстана в мезозое и её роль в формировании угленосных бассейнов. Охарактеризованы геотектоническое положение, типы бассейнов осадконакопления и этапы мезозойского углеобразования. Проведена сравнительная характеристика месторождения Шубарколь и Майкубенского угольного бассейна.

В четвёртой главе представлены результаты геохимических исследований углей Центрального Казахстана. Установлены уровни накопления элементов-примесей и редкоземельных элементов, выявлены закономерности их распределения и геохимической дифференциации. На основе корреляционного, кластерного и факторного анализа выделены устойчивые ассоциации элементов и факторы, контролирующие их накопление.

В пятой главе рассмотрен минералогический состав углей и формы нахождения элементов-примесей. Определены основные минеральные носители редкоземельных и сопутствующих элементов, охарактеризованы условия формирования акцессорных и вторичных минералов, а также предложена генетическая интерпретация процессов минералообразования в угленосных формациях.

В шестой главе разработана система поисковых критериев накопления элементов-примесей в угленосных формациях мезозоя Центрального Казахстана. Обоснованы геодинамические, геохимические и минералогическо-геохимические критерии и показана возможность их практического применения при прогнозно-поисковых работах.

Основные выводы и результаты диссертации:

В процессе обобщения обширного фактического материала и его тщательного анализа получено множество выводов различного уровня и значимости. В автореферат вынесены наиболее важные выводы:

1. Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что угленосные бассейны Центрального Казахстана, включая Майкубенский бассейн и Шубаркольское месторождение, отличаются высокой степенью стратиграфической и структурно-геологической изученности, сформированной в результате многолетних региональных и детальных геолого-разведочных работ. В ранее выполненных исследованиях установлены литолого-фациальные особенности угленосных толщ и выявлены общие закономерности их формирования в мезозойских

внутриконтинентальных впадинах, унаследовавших палеозойские тектонические структуры Центрально-Азиатского складчатого пояса.

2. Показано, что большинство существующих моделей угленакопления ориентировано преимущественно на стратиграфо-тектонический и литолого-фациальный анализ, что соответствует уровню задач и методических возможностей времени их создания. При этом геодинамические факторы и их взаимосвязь с геохимическими характеристиками углей, как правило, рассматривались фрагментарно и не получали комплексного обоснования. Ранние геохимические исследования базировались преимущественно на полуколичественных аналитических методах, что ограничивало возможности детальной интерпретации масштабов и генетической природы обогащения углей редкими, редкоземельными и критически важными элементами.

3. Современные количественные исследования, выполненные с применением методов ICP-MS, INAA и SEM-EDS, подтвердили наличие повышенных концентраций REE, Ge, Sc и сопутствующих элементов в углях Шубаркольского месторождения и Майкубенского бассейна. Вместе с тем полученные данные носят локальный характер и в большинстве случаев анализируются вне единого стратиграфо-геодинамического и палеогеографического контекста.

4. Актуальной научной задачей остается развитие комплексного подхода, предусматривающего сопоставление геохимических закономерностей углей с литолого-фациальной зональностью, источниками терригенного и вулканогенного материала, а также этапами тектонической эволюции угленосных бассейнов. Требуется дальнейшего изучения роль органической и минеральной составляющих углей в концентрации редкоземельных и других критически важных элементов и их связь с условиями седиментации, редокс-обстановкой и постседиментационными преобразованиями. Установлено, что формирование мезозойских угленосных формаций Центрального Казахстана происходило в условиях посторогенной эволюции региона и контролировалось унаследованным разломно-блоковым каркасом Центрально-Азиатского складчатого пояса, реактивированным в мезозое. Тектонические процессы определяли геометрию осадочных впадин, режим субсиденции и пространственное размещение угленосных бассейнов.

5. Установлено, что Шубаркольский и Майкубенский угленосные бассейны формировались преимущественно в грабеноподобных внутриконтинентальных впадинах в условиях длительного тектоно-седиментологического развития посторогенной мезозойской плиты, что способствовало накоплению мощных юрских угленосных толщ.

6. Определено, что пространственная дифференциация угленосных бассейнов и вариации мощности угленосных разрезов определялись разломно-блоковой тектоникой, глубинные разломы контролировали закладку локальных центров субсиденции и аллювиально-озёрно-болотных обстановок осадконакопления.

7. Геотектоническое положение Центрального Казахстана между крупными кратонами обусловило мозаичное строение региона,

неравномерные вертикальные движения и формирование локальных депрессий, в пределах которых концентрировалось юрское угленакпление. Существенную роль в структурной организации угленосных бассейнов сыграло Сарысу-Тенизское поднятие, определившее их сегментацию, асимметрию и различия в мощности разрезов.

8. Установлено, что углеобразование в юрский период происходило при чередовании фаз субсиденции и тектонической активизации. Климатические условия были относительно благоприятными и устойчивыми, однако играли подчинённую, модифицирующую роль по отношению к тектоническому контролю.

9. Установлено, что при сопоставлении Шубаркольского месторождения и Майкубенского бассейна показало, что различия в строении, мощности и продуктивности угленосных толщ при сходных палеоклиматических условиях обусловлены прежде всего геодинамическими факторами.

10. Установлено, что геодинамическая эволюция региона определяла не только формирование угленосных бассейнов, но и условия накопления элементов-примесей в углях, что имеет принципиальное значение для прогноза их геохимической специализации.

11. **Установлено**, что ключевые закономерности формирования угленосных отложений мезозоя Центрального Казахстана связаны с юрским этапом геодинамической эволюции. Он характеризовался развитием внутриконтинентальных прогибов растяжения, постколлизийной перестройкой структуры и активизацией глубинных разломов, что определяло осадконакопление и поступление вещества в бассейны. В этот период формировались угленосные отложения Шубаркольского и Майкубенского типов, приуроченные к разломно-блоковым структурам.

12. **Установлено**, что источники вещества углей Шубарколя соответствуют кислым-средним магматическим породам и переработанным коровым материалам (по результатам геохимического анализа: диаграммы $Zr/TiO_2 - Nb/Y$, $La/Th - Hf$, Winchester & Floyd, 1977 [102]). Распределение точек отражает влияние юрских геодинамических процессов: активизацию разломов, поступление тонкодисперсного вулканогенного материала и переработку коровых комплексов в условиях внутриконтинентального растяжения. Геодинамический режим юры определял не только архитектуру осадочного бассейна, но и геохимическую специализацию терригенного материала, обогащенного высокозарядными элементами (Zr, Nb, Y).

13. **Выявлены** переходные фации между болотными и флювиальными системами в угленосных бассейнах, что выражается высокой вариабельностью Ce/Ce^* , $LREE/HREE$ и отражает чередование окислительных и восстановительных условий. Это создаёт перспективные зоны для локального накопления редкоземельных элементов за счёт сочетания органогенного и минерального механизмов фиксации. Блоковая тектоника и дифференцированные прогибы способствовали формированию локальных болотных и озёрно-болотных условий с пониженным окислительно-восстановительным потенциалом и слабокислой реакцией среды,

благоприятной для осаждения урана и концентрации РЗЭ органическим веществом и глинистыми минералами.

14. Установлено, что исследуемые угли характеризуются положительными европиевыми аномалиями ($Eu = 1,1-2,3$), подтверждающими гидрогенный механизм накопления металлов из пластовых вод.

15. Установлено, что минерально-петрографический состав углей Шубаркольского месторождения, включая каолинит, анатаз и циркон, отражает поступление продуктов выветривания и вулканогенного материала, влияние флюидных потоков в разломных зонах и формирование аутигенных и диагенетических минералов – носителей REE, Zr, Nb, Y и U. Форма нахождения элементов-примесей определяется взаимодействием органического вещества с минералообразующими процессами, контролируемые юрской тектонической активизацией.

16. Выявлено, что в угленосной толще формируются устойчивые ассоциации петрогенных компонентов и микроэлементов, отражающие различные источники вещества и особенности геохимических процессов, выделенные на основе кластерного и факторного анализа. Полученные закономерности служат основой для разработки прогнозных критериев выявления угольных месторождений с повышенным содержанием редкоземельных и сопутствующих элементов-примесей.

17. Установлено, что минералогические исследования углей и углевмещающих пород Центрального Казахстана выявили многостадийный характер минералообразования с участием диагенетических, эпигенетических и локально гидротермальных процессов. Основная концентрация элементов-примесей и РЗЭ приурочена к диагенетическим и эпигенетическим фазам, локализованным в органическом веществе углей и зонах его контакта с минеральной матрицей. Для углей Майкубеньского бассейна характерна пространственная и генетическая дифференцированность минеральных фаз, что формирует прогноз геохимической специализации бассейна, включая накопление Fe, S и ассоциированных микро- и редкоземельных элементов.

18. Установлено, что сочетание аутигенного каолинита, анатаза и ассоциации «циркон-бадделеит» в совокупности с признаками тектонической активизации (пальгорскит) может рассматриваться как надежный минералогический критерий для поиска зон обогащения углей редкими и редкоземельными элементами.

19. Установлено, что Ti прочно связан с алюмосиликатной фазой ($r=0,93$ с Al_2O_3), входя в структуру каолинита в виде субмикронных включений анатаза.

20. Установлено, что минеральная часть углей представлена преимущественно кварцем и каолинитом. Это свидетельствует о высокой степени зрелости исходного терригенного материала и интенсивном химическом выветривании в областях питания палеобассейнов. Генетическая неоднородность кварца и глинистых минералов: в Шубаркольских углях выявлен как кластогенный (пришлый – происхождение извне), так и аутигенный (новообразованный) кварц. Каолинит в виде хорошо

раскристаллизованных вермикул и сферолитов указывает на активные процессы раннедиагенетической каолинизации в кислой среде под воздействием флюидов.

21. Выявлено, что основными носителями высокозарядных элементов (Zr, Hf, Nb, Ta) являются циркон и редкий для углей бадделеит (ZrO_2). Наличие бадделеита и анатаза (TiO_2) служит индикатором вторичной минерализации и возможного влияния вулканогенного материала или глубинных флюидов.

22. Установлено, что ведущей минеральной формой фиксации редкоземельных элементов являются фосфаты: монацит (концентратор легких РЗЭ – La, Ce, Nd) и ксенотим (концентратор тяжелых РЗЭ – Yb, Lu и иттрия). Их присутствие в виде аутигенных пленок и корок подтверждает перераспределение РЗЭ из органики в минеральную фазу при углефикации.

23. Разработана система поисковых признаков и интегрированный анализ геодинамических, литолого-фациальных, геохимических и минералого-геохимических параметров, который позволяет:

- оценивать перспективность угленосных бассейнов на ранних стадиях исследований;

- выявлять зоны повышенной концентрации элементов-примесей, включая РЗЭ;

- прогнозировать геохимический состав углей в перспективных бассейнах и локальные аномалии;

- оптимизировать планирование поисково-оценочных работ и дальнейших исследований, включая изучение магматического и вулканогенного материала, а также эпигенетических и гидротермальных процессов.

Применение разработанных критериев позволяет формировать научно обоснованные рекомендации для поисково-оценочных работ, минимизировать затраты и повысить эффективность изучения угленосных бассейнов. Кроме того, эти признаки могут использоваться для прогнозирования геохимического состава углей в перспективных бассейнах и для выявления новых локальных аномалий, что открывает возможности для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в области угольной геохимии и минералогии.