

*На правах рукописи*



**Секерина Дарья Денисовна**

**ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И  
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ  
РУДОНОСНОСТИ  
ЗМЕИНОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА  
(АЛТАЕ-САЯНСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ)**

Специальность 1.6.9 - Геофизика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург, 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

**Егоров Алексей Сергеевич**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор

Официальные оппоненты:

**Пискарёв-Васильев Алексей Лазаревич**  
доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник  
отдела морской сейсморазведки ФГБУ «Всероссийский  
научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов  
Мирового океана имени академика И.С. Грамберга»

**Орехов Александр Николаевич**  
кандидат геолого-минералогических наук, директор ООО «Гео Сер-  
вис»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологиче-  
ский институт им. А.П. Карпинского»

Защита диссертации состоится **24 декабря 2024 г. в 15:30** на заседании  
диссертационного совета 24.2.364.02 в Российском государственном  
геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по ад-  
ресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 23, аудитория 473.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского госу-  
дарственного геологоразведочного университета имени Серго Орд-  
жоникидзе и на сайте: <http://mgri.ru/>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета

А.А. Иванов

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Актуальной задачей восполнения минерально-сырьевой базы Российской Федерации является выявление остродефицитных и высоколиквидных полезных ископаемых в пределах старых промышленно освоенных регионов. Особый промышленный интерес представляет минерально-сырьевая база Алтая. Среди 1500 выявленных здесь месторождений полезных ископаемых особого внимания заслуживают 16 разведанных колчеданно-полиметаллических рудопроявлений, характеризующихся как перспективные на выявление скрытого и слабо проявленного на поверхности оруденения.

Благодаря своей промышленной значимости регион имеет высокую геолого-геофизическую изученность на всех масштабных уровнях. Однако большинство выявленных рудопроявлений, по состоянию на 14.01.2022 г., не доведены до уровня месторождений (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П. Карпинского», 2022), поскольку недостаточно обоснованы глубинные геологические критерии локализации колчеданно-полиметаллического оруденения на более глубоких уровнях верхней коры (до 20 км). В этой связи требуется проведение дополнительных прогнозно-минерагенических исследований на перспективных площадях, установленных в результате ранее выполненных поисковых исследований. Предполагается, что скрытое и слабо проявленное на поверхности колчеданно-полиметаллическое оруденение может быть обнаружено в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба центральной минерагенической зоны Рудного Алтая (Серавина и др., 2021; Бестемьянова и др., 2021).

В соответствии с этой постановкой задачи автором выполнена специализированная обработка и комплексная геотектоническая интерпретация геофизических данных территории Змеиногорско-Быструшинского прогиба с выявлением геолого-структурных и геофизических критериев рудоносности для решения задачи распознавания образцов с обучением.

### **Степень разработанности темы исследования**

Значительный вклад в исследования глубинного геологического строения Алтайского региона в целом, и Змеиногорского рудного района, в частности внесли работы Б.А.Дьячкова, Л.К.Филатовой, Л.Г.Никитиной, Е.К.Ермолаева, В.Б.Караулова, М.М.Буслова и других ученых в конце XX века. Особое значение в развитии представлений о геотектонике исследуемой площади имеют результаты работ, выполненных коллективами ФГБУ ЦНИГРИ, ФГУ НПП «Геологоразведка», ФГУП СНИИГГиМС, ФГУП «ВНИИГЕОФИЗИКА», Томского политехнического университета, ФГУП ИМГРЭ, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского» и ОАО «Рудно-Алтайская экспедиция». Результаты этих исследований отражены в научных трудах Т.В.Серавиной, В.В.Кузнецова, Г.Д.Ганженко, М.А.Юдовской, С.В.Кашина, И.В.Викентьева, Н.И.Гусева, А.И.Гусева, Ю.Е.Вовшина, С.В.Кузнецовой, М.Л.Куйбиды, И.В.Гаськова, Ю.А.Туркина, О.М.Гринева, Н.Г.Кудрявцевой, К.Л.Новоселова, А.Л.Дергачева, С.П.Шокальского, Д.В.Титова, А.И.Черных и других ученых. Важную роль играют исследования отечественных ученых, специализирующихся на развитии технологических инструментов многофакторного прогнозирования. Среди них выделяются работы Д.Ф.Калинина, М.К.Овсова, М.А.Мизерной, А.П.Пятковой, З.И.Черненко, О.Н.Кузьминой, Н.А.Зимановской, Т.А.Ойцевой, Н.И.Еремина, Ю.С.Ананьева,

В.Г.Ворошилова, А.А.Поцелуева, В.Г.Житкова, А.С.Кузнецова, И.И.Приезжева, Г.К.Григорьева, Н.П.Сенчиной.

Важная роль в работе отводилась изучению зарубежного опыта исследований геологических структур, вмещающих колчеданно-полиметаллическое оруденение (W.P.Schellart, 2023 [117]; L.R.Berio, 2022 [94]; Eric A.de Kemp, 2021 [98]; J.C.Duarte, 2013 [116] и др.).

Высокая степень разработанности проблем прогнозирования скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Рудно-алтайской минерагенической зоны позволяет составить определенное представление о закономерностях рудоформирования. Однако богатая фактологическая основа осложнена противоречивыми гипотезами, которые характеризуют глубинное строение региона и механизмы рудоформирования. Исходя из чего, требуется привлечение дополнительных инструментов для создания актуальных прогнозных моделей.

Содержание диссертации **соответствует паспорту научной специальности** по пунктам 1, 5, 8, 11, 14, 16, 17, 18, главными из которых являются:

п.11 Природа и свойства физических полей Земли с источниками в земных недрах, их геологическая и геодинамическая интерпретация. Поля во внешних оболочках Земли, если они используются для изучения её внутренней структуры или взаимодействия её различных оболочек. Теоретические и экспериментальные исследования потенциальных полей Земли. Теория механических, электромагнитных и тепловых процессов в Земле.

п.17 Компьютерные системы обработки, численной инверсии и комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, включая ГИС-технологии.

**Объект исследования** – Змеиногорский рудный район (Рудный Алтай).

**Предмет исследования** – глубинное строение, тектоника и геодинамика верхней коры Змеиногорского рудного района, геолого-структурные критерии локализации колчеданно-полиметаллического оруденения (вулканогенные месторождения массивных сульфидных руд).

**Цель работы** – геотектоническая интерпретация комплекса геолого-геофизических данных с выявлением структурно-вещественных (тектонических) и геофизических критериев рудоносности для изучения закономерностей пространственной локализации и прогнозно-минерагенической оценки скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай).

**Идея работы** – на основе выявленных геотектонических и геофизических критериев локализации колчеданно-полиметаллического оруденения возможно выполнение оригинальных прогнозно-минерагенических оценок рудного района на скрытое и слабо проявленное на поверхности оруденение с использованием технологии распознавания образов с обучением.

Поставленная в диссертации цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Аналитический обзор современных научных представлений о геолого-структурных (геотектонических) закономерностях формирования колчеданно-полиметаллического оруденения в вулканогенно-осадочных формациях.
2. Анализ и обобщение результатов ранее выполненных глубинных геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических исследований Рудного Алтая.
3. Разработка методологической схемы исследований, включающей обработку и интерпретацию геолого-геофизических данных с построением историко-эволюционных моделей в форме площадных схем и

глубинных разрезов, характеризующих закономерности формирования колчеданно-полиметаллических руд в пределах Змеиногорского рудного района. Разработка мелкомасштабной историко-эволюционной модели развития геоструктур Рудного Алтая.

4. Разработка мелкомасштабной историко-эволюционной модели формирования геоструктур Рудного Алтая.

5. Обоснование параметров глубинного строения Змеиногорского рудного района и разработка геолого-структурных и геофизических критериев рудоносности колчеданно-полиметаллического оруденения и решение задач распознавания образцов с обучением.

**Научная новизна работы:**

1. Разработана многоэтапная методическая схема обработки и комплексной интерпретации геофизических данных, обеспечивающая решение задачи глубинного моделирования верхней коры (до 20 км), изучение геодинамических обстановок и последовательности формирования структурно-вещественных неоднородностей Рудного Алтая и выполнение на новом уровне прогнозно-минерагенических построений в пределах Змеиногорского рудного района.

2. Составлены историко-эволюционные схемы формирования геоструктур Рудного Алтая.

3. Обоснованы историко-эволюционные модели формирования разреза верхней коры Змеиногорского рудного района, с использованием которых выявлены критерии локализации скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения.

4. Выполнено решение задачи «распознавания образцов с обучением» с использованием обоснованных критериев локализации оруденения, проведено районирование площади

Змеиногорского рудного района с оценкой перспектив обнаружения скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Разработана методическая схема многоэтапной обработки и комплексной интерпретации геолого-геофизических данных с построением геотектонических и глубинных геолого-геофизических моделей земной коры Рудного Алтая и верхней коры Змеиногорского рудного района.

2. Построена историко-эволюционная модель формирования верхней коры Змеиногорского рудного района, которая использована для изучения закономерностей локализации колчеданно-полиметаллического оруденения в вулканогенно-осадочных формациях рифтогенного генезиса.

3. Обоснован набор геолого-структурных (тектонических) и геофизических критериев рудоносности Змеиногорского рудного района.

4. Результаты диссертационной работы использованы при разработке моделей скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения на лицензионных площадях (Акт о внедрении от 07.05.2024 г. ООО «СЗГГК «Геокомплекс»).

**Методология и методы исследования.** Формирование рабочего банка данных проводилось на основе структурирования и увязки в единых форматах цифровых карт, схем, дистанционных основ, матриц, разрезов, в специализированных программных пакетах Surfer 16.0, ArcGIS 10.0. Обработка и интерпретация геолого-геофизических данных выполнялась с использованием отечественных программных комплексов КОСКАД-3D (автор – А.В.Петров), ГИС Интегро (коллектив авторов лаборатории Геоинформатики ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, ФГБУ "ВНИГНИ"), MultAlt (автор – Д.Ф.Калинин), а также с привле-



чением таких программных пакетов, как Oasis Montaj, SeiSee и др. Для преобразования профильных материалов на основе гравитационных и магнитных данных использовались алгоритмы решения обратных задач геофизики (Мовчан, 2023; Штокаленко, 2010). Визуализация и картопостроение проводились с использованием графического редактора CorelDraw 20.0.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Многоэтапная методика моделирования структурно-вещественных неоднородностей земной коры, базирующаяся на обработке, качественной и количественной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных на мелко-, средне- и крупномасштабном уровнях, обеспечивает установление закономерностей глубинного строения, геодинамических обстановок формирования и истории геологического развития Змеиногорского рудного района Рудного Алтая.

2. Согласно результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, формирование колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Змеиногорского рудного района обусловлено последовательным проявлением герцинских геодинамических обстановок: заложением трога в условиях тыловодужного рифтогенеза активной континентальной окраины ( $D_{1-2}$ ); складчато-надвиговых деформаций комплексов трога в ходе коллизионного орогенеза, определивших разный уровень денудации трех перспективных зон Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба.

3. Геолого-структурные и геофизические признаки оруденения, обоснованные в ходе многоэтапных геолого-геофизических исследований региона, обеспечивают, с использованием технологии распознавания образов с обучением, выполнение прогнозной оценки Змеиногорского рудного района на поиски скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения.

**Степень достоверности результатов исследования** обусловлена использованием качественных фактических геолого-геофизических данных, современных алгоритмов их обработки и интерпретации с использованием апробированных программных комплексов, а также опорой на богатый опыт прогнозно-минерагенических исследований, выполненных предшественниками на данной площади.

**Апробация результатов.** Основные тезисы и выводы по результатам работы получили апробацию в рамках следующих мероприятий: 1) «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии», 12-15 октября 2021 года, ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск; «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии», 3-7 октября 2022 года, ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты; «Новое в процессах рудообразования», 28 ноября – 2 декабря 2022 года, ИГЕМ РАН, г. Москва; Рудная школа ЦНИГРИ (IV Молодежная научно-образовательная конференция) «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», 15-17 февраля 2023 года, ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва; XXVII Международный молодежный научный симпозиум имени академика М.А. Усова, 3-7 апреля 2023 года, г. Томск; XIX Международный форум-конкурс «Актуальные проблемы недропользования», 22-28 мая 2023 года, Санкт-Петербург; LV (55) Тектоническое совещание, 30 января – 2 февраля 2024 года, г. Москва- ГИН РАН; XIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», 10-12 апреля 2024 года, ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва. 2) производственная стажировка «По следам палеоземлетрясений» в рамках полевого лагеря «Field Camp 2023», 5-20 июля 2023 года, Горный Алтай, ПИШ НГУ.

**Личный вклад автора** заключается в анализе мирового и отечественного опыта изучения закономерностей локализации колчеданно-полиметаллических месторождений, в составлении рабочих банков геолого-геофизических данных по площади Рудного Алтая в целом и в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба; разработке многоэтапной методической схемы комплексной интерпретации обширного набора фактических данных с последующим формированием площадных геолого-структурных схем и глубинных разрезов и построением глубинных геолого-геофизических и историко-эволюционных моделей верхней коры; в обосновании набора геолого-структурных (тектонических) и геофизических критериев рудоносности и разработке прогнозной схемы Змеиногорского рудного района с обоснованием перспективной рудоносности его центральной зоны и отдельных ареалов в западной и восточной зоне.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 14 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus, в 9 тезисах – в изданиях, входящих в систему РИНЦ.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 121 наименование, и 1 приложения. Диссертация изложена на 103 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков и 4 таблицы.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность за помощь в подготовке диссертации научному руководителю д.г.-м.н., профессору Алексею Сергеевичу Егорову.

За консультации, ценные замечания и советы автор выражает благодарность профессорско-преподавательскому составу кафедры геофизики: профессору д.т.н. Д.Ф.Калинину; профессору д.т.н. В.В.Глазунову, профессору д.т.н. А.П.Сысоеву, доценту к.г.-м.н. И.Б.Мовчану, доценту к.г.-м.н. Н.П.Сенчиной, доценту к.г.-м.н. С.М.Данильеву, доценту к.г.-м.н. Н.А.Данильевой, доценту к.т.н. Горелику Г.Д., доценту к.г.-м.н. С.Г.Алексееву, старшему преподавателю к.г.-м.н. Н.В.Большаковой.

Особую благодарность автор выражает за консультации, переданный опыт и содействие ведущему научному сотруднику ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского» С.В.Кашину, начальнику отдела цветных металлов ФГБУ ЦНИГРИ к.г.-м.н. В.В.Кузнецову, ученому секретарю ФГБУ ЦНИГРИ к.г.-м.н. Т.В.Серавиной, директору ООО СЗГК «Геокомплекс» А.Д.Кузовенкову.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

### **Первое защищаемое положение**

**Многоэтапная методика моделирования структурно-вещественных неоднородностей земной коры, базирующаяся на обработке, качественной и количественной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных на мелко-, средне- и крупномасштабном уровнях, обеспечивает установление закономерностей глубинного строения, геодинамических обстановок формирования и истории геологического развития Змеиногорского рудного района Рудного Алтая.**

Территория Рудного Алтая характеризуется высокой степенью геолого-геофизической изученности, что позволяет выполнять комплексное геотектоническое и прогнозно-минерагеническое моделирование с применением современных научно-методических подходов и технологий. В работе применена строгая многоэтапная последовательность сбора, систематизации, обработки и интерпретации геолого-геофизических данных на мелко-, средне- и крупномасштабном уровнях.

На каждом масштабном уровне формировался рабочий банк данных, включающий геологические карты, дистанционные основы, цифровые модели гравитационного и магнитного полей, сейсмические разрезы и другие материалы, которые унифицированы по условным обозначениям и пространственному положению.

Далее выполнялась обработка данных, которая предусматривала расчет региональной и локальной составляющих, вертикальных производных, среднечастотных компонент и других трансформант потенциальных полей. Вдоль опорных сечений были решены обратные задачи гравитационного и магнитного полей, рассчитаны аналитические продолжения геополей (Мовчан, 2022), особые точки с применением деконволюции Эйлера (Сенчина, 2021), сейсмические разрезы представлены в показателях «рефлексивности» (Большакова, 2022).

Затем проводилась качественная и количественная интерпретация набора геофизических данных, предусматривающая выделение блоков (палеоплит) и межблоковых (сутурных, рифтогенных, сдвиговых) зон, отдельных разрывных нарушений и геологических тел.

Результаты выполненных построений представлены в форме геотектонических схем, историко-эволюционных моделей и глубинных разрезов, характеризующих особенности глубин-

ного строения и развития Рудного Алтая (Рисунок 1). Структурно-вещественные построения выполнены автором в рамках зонально-блоковой модели земной коры (Егоров, 2021).

*В результате историко-эволюционного моделирования земной коры Рудного Алтая, удалось отобразить специфическую геодинамическую обстановку формирования Змеиногогорско-Быструшинского прогиба, рассматриваемого в качестве одной из наиболее перспективных зон региона на обнаружение скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения.*

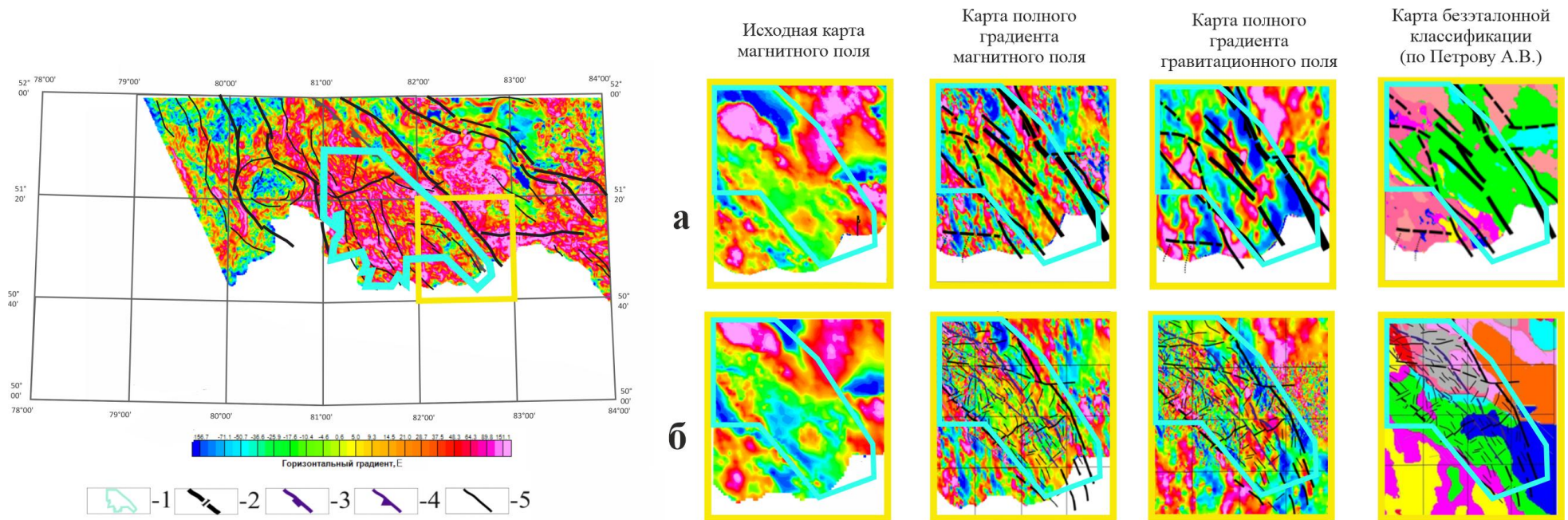


Рисунок 1 – Пример выделения контура Змеиногогорско-Быструшинского прогиба и Северо-Восточного разлома по результатам преобразования гравитационного и магнитного полей на а) среднем и б) детальном масштабном уровне.

Условные обозначения: 1 – контур детальной изученности, включающий Змеиногогорский рудный район, 2 – 5 – разрывные нарушения: 2 – главные разломы (1 – Северо-Восточный, 2 – Центрально-Алейский, 3 – Отраднинско-Верхалейский), 3 – границы рифтогенной структуры, 4 – надвиги, 5 – второстепенные разломы.

## Второе защищаемое положение

**Согласно результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, формирование колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Змеиногорского рудного района обусловлено последовательным проявлением герцинских геодинамических обстановок: заложением трога в условиях тыловодужного рифтогенеза активной континентальной окраины ( $D_{1-2}$ ); складчато-надвиговых деформаций комплексов трога в ходе коллизионного орогенеза, определивших разный уровень денудации трех перспективных зон Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба.**

На среднем масштабном уровне задействованы те же методические подходы, что и на региональном. Выполнена качественная и количественная интерпретация геофизических данных, проведено историко-эволюционное моделирование, направленное на изучение закономерностей формирования основных структурно-вещественных комплексов верхней коры Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба в ходе герцинских орогенных процессов (Рисунок 2).

Выполнена реконструкция проявления двух фаз ранне-среднедевонского ( $D_{1-2}$ ) рифтогенеза АКО, сопровождавшегося формированием бимодальной базальт-риолитовой формации и внедрением гранитоидных интрузивов. В позднем девоне ( $D_3$ ) – среднем карбоне ( $C_2$ ) происходило активное внедрение коллизионных гранодиорит-гранитоидных интрузивов. Коллизионный орогенез ( $C_{1-3}$ ) сопровождался заложением складчато-надвиговых деформаций, что привело в пределах центральной зоны Змеиногорско-Быструшинского прогиба к выведению на поверхность древних осадочных комплексов пассивной континентальной окраины (O-S).



*Таким образом, набор построенных историко-эволюционных схем и разрезов отображает приуроченность колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах прогиба к вулканогенно-осадочным комплексам тыловодужного рифтогенеза АКО ( $D_{1-2}$ ). В качестве факторов, осложняющих строение прогиба, рассматриваются коллизионные процессы, вызванные столкновением Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов: внедрение гранитоидов ( $D_3-C_2$ ) и развитие складчато-надвиговых деформаций.*

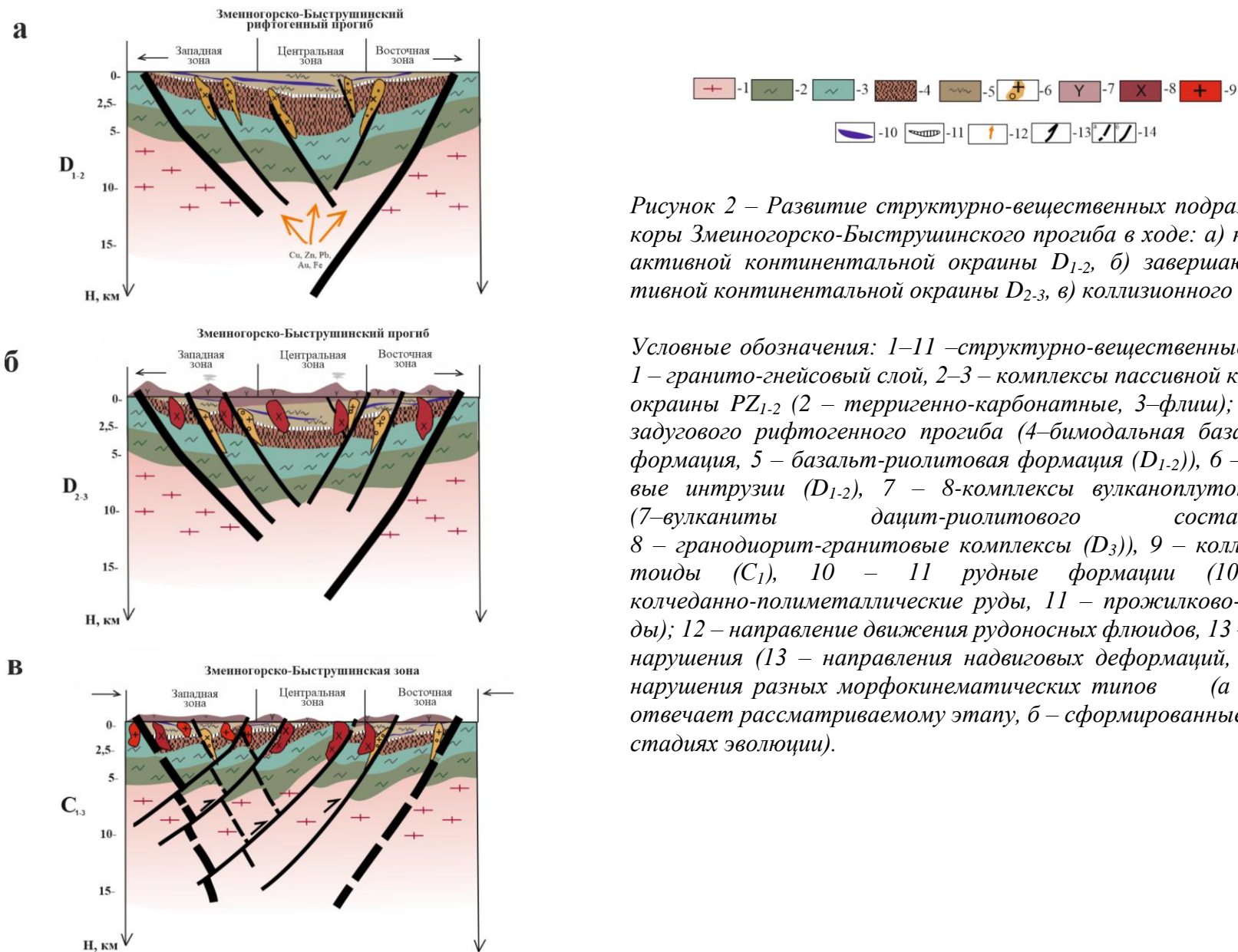


Рисунок 2 – Развитие структурно-вещественных подразделений верхней коры Змеиногогорско-Быструшинского прогиба в ходе: а) начального цикла активной континентальной окраины  $D_{1-2}$ , б) завершающего цикла активной континентальной окраины  $D_{2-3}$ , в) коллизионного орогенеза  $C_{1-3}$ .

Условные обозначения: 1–11 – структурно-вещественные подразделения: 1 – гранито-гнейсовый слой, 2–3 – комплексы пассивной континентальной окраины  $PZ_{1-2}$  (2 – терригенно-карбонатные, 3 – флиши); 4–6 – комплексы задугового рифтогенного прогиба (4 – бимодальная базальт-риолитовая формация, 5 – базальт-риолитовая формация ( $D_{1-2}$ )), 6 – плагиогранитовые интрузии ( $D_{1-2}$ ), 7 – 8 – комплексы вулканоплутонического пояса (7 – вулканиты дацит-риолитового состава ( $D_{2-3}$ ), 8 – гранодиорит-гранитовые комплексы ( $D_3$ )), 9 – коллизионные гранитоиды ( $C_1$ ), 10 – 11 – рудные формации (10 – сплошные колчеданно-полиметаллические руды, 11 – прожилково-вкрапленные руды); 12 – направление движения рудоносных флюидов, 13 – 14 – разрывные нарушения (13 – направления надвиговых деформаций, 14 – разрывные нарушения разных морфокинематических типов (а – формирование отвечает рассматриваемому этапу, б – сформированные на более ранних стадиях эволюции)).

Третье защищаемое положение

**Геолого-структурные и геофизические признаки оруденения, обоснованные в ходе многоэтапных геолого-геофизических исследований региона, обеспечивают, с использованием технологии распознавания образов с обучением, выполнение прогнозной оценки Змеиногорского рудного района на поиски скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения.**

На детальном масштабном уровне дополнительно к стандартной методической схеме обработки и интерпретации геофизических данных применено спектральное разложение потенциальных полей, позволяющее выделить контуры интрузивных комплексов на разных глубинных срезах (в т.ч на 3-х км). На основе этих данных выполнена детализация системы разрывных нарушений в пределах Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба (Рисунок 3 а). Результаты качественной обработки растровых сейморазведочных разрезов МОГТ-2D-ВРС с расчетом показателей «рефлективности» использованы для выделения и прослеживания в геологическом пространстве структурно-вещественных неоднородностей разреза до глубины 3 км (Рисунок 3 б-д).

На основе геотектонической интерпретации комплекса геофизических данных выделены геолого-структурные (линейные, контурные) критерии рудоносности. В ходе расчетов к их числу добавлены ранее обоснованные параметры гравитационного и магнитного полей и их трансформаций (Калинин, 2013). Набор этих критериев использован для решения задачи распознавания образов с обучением.

В качестве эталонных объектов заданы контуры Лазурского и Корбалихинского рудопроявлений. Корреляция прогнозных критериев с заданными эталонами позволяет выполнить оценку их информативности, которая характеризует степень совпадения параметров эталонных объектов и метризованных геолого-структурных и геофизических критериев. Оценка информативности критериев представлена в форме гистограммы (Рисунок 4), характеризующей вес каждого критерия, при условии, что суммарный вес всех критериев равен ста процентам.

Согласно выполненным расчетам наиболее информативными прогнозными признаками являются «расстояния до основных разломов», «контур Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба», «западная и центральная зоны прогиба», «зона слабой денудации», знакопеременные параметры магнитного поля, низкочастотные составляющие потенциальных полей. Полученные таким путем данные согласуются с результатами прогнозных оценок рудоносности Змеиногорского рудного района в пределах Рудного Алтая, выполненных по классической прогнозно-поисковой схеме (Серавина, 2021; Калинин, 2013).

Сводная схема потенциальной рудоносности Змеиногорского рудного района (Рисунок 5) отображает закономерности расположения ареалов со значениями близким к 1, которые характеризуют высокую вероятность совпадения задаваемых параметров и эталонов; ареалы близкие к 0 показывают низкую вероятность совпадения. Наибольшими перспективами на выявление скрытого и слабо проявленного на поверхности оруденения характеризуется центральная зона, которая наиболее интенсивно подвержена влиянию надвиговых деформаций и, соответственно, денудации рифтогенных комплексов ранне-среднедевонского возраста, с выведением на дневную поверхность шельфовых терригенно-карбонатных формаций (O-S).

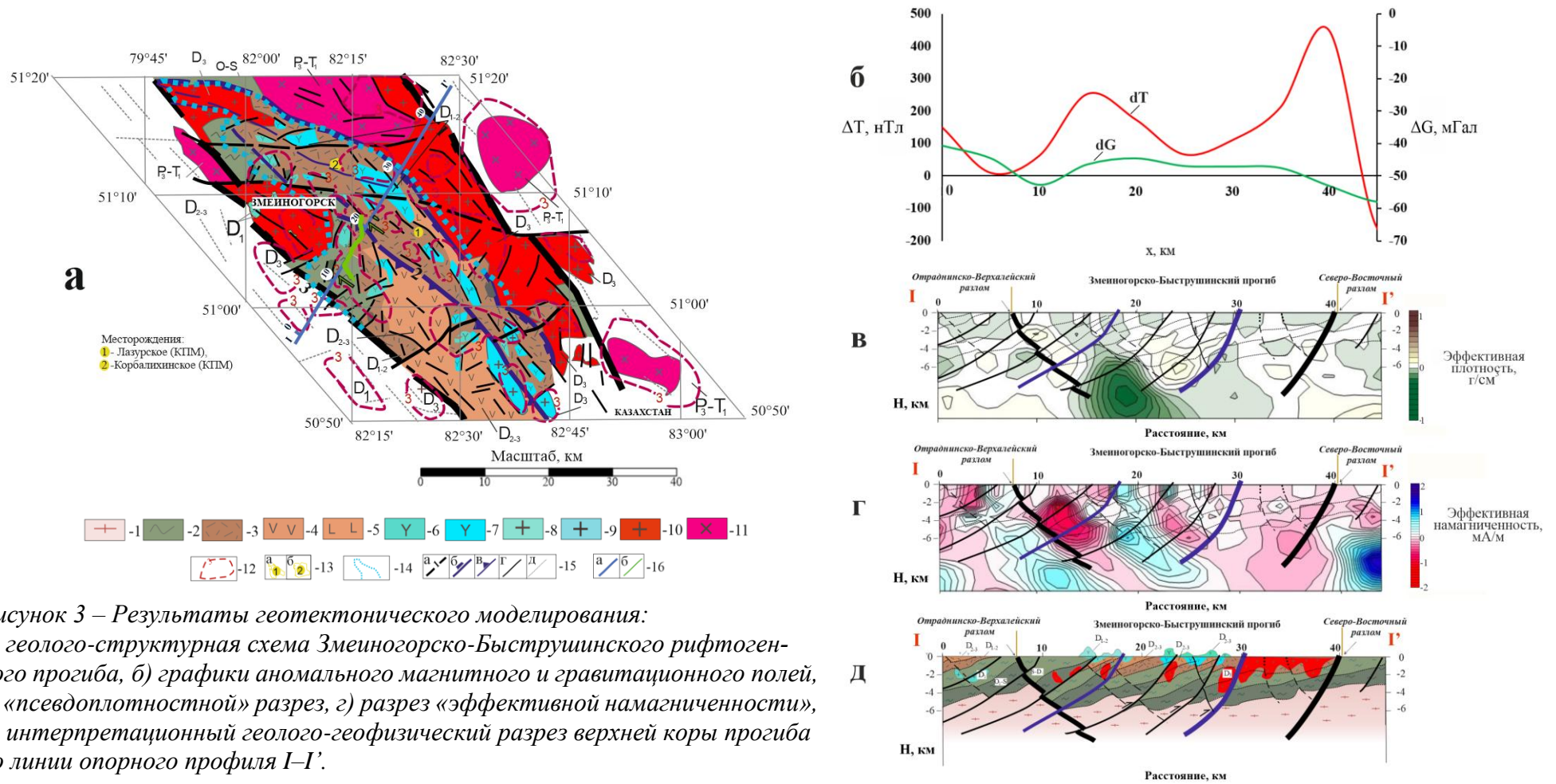


Рисунок 3 – Результаты геотектонического моделирования:  
 а) геолого-структурная схема Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба, б) графики аномального магнитного и гравитационного полей, в) «псевдоплотностной» разрез, г) разрез «эффективной намагниченности», д) интерпретационный геолого-геофизический разрез верхней коры прогиба по линии опорного профиля I-I'.

Условные обозначения: 1 – 11 – структурно-вещественные подразделения: 1 – гранито-гнейсовый слой (верхняя кора), 2 – карбонатно-терригенные комплексы (песчаники, сланцы, известняки ( $PZ_1$ )), 3 – риолиты, риодациты ( $D_{1,2}$ ), 4 – базальты ( $D_{2,3}$ ), 5 – лавобрекчии, базальты ( $D_{2,3}$ ), 6 – 7 – субвулканические комплексы (6 – дайки риолитов  $D_{1,2}$ , 7 – дайки риолитов  $D_2$ ), 8 – 11 – интрузивные комплексы (8 – плагиограниты  $D_1$ , 9 – гранодиориты  $D_3$ , 10 – габброиды  $D_3$ , 11 – плагиограниты ( $P_2-T_1$ )); 12 – 16 – прочие обозначения: 12 – контуры интрузивных массивов на глубине 3 км, 13 – рудопроявления (а – Лазурское, б – Корбалихинское), 14 – контур Змеиногорского рудного узла, 15 – разрывные нарушения (а – главные разломы: 1 – Северо-Восточный, 2 – Центрально-Алейский, 3 – Отрадинско-Верхалейский; б – границы рифтогенной структуры, в – надвиги, г – второстепенные разломы, д – разломы за пределами исследуемой площади), 16 – положение профилей (а – интерпретационный профиль, б – сейсморазведочные профили).

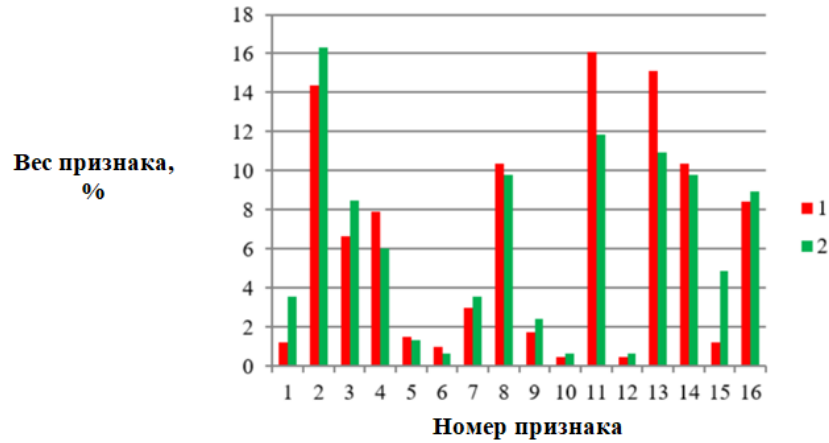


Рисунок 4 – Гистограмма относительных весов признаков (%), рассчитанных по эталонам – Лазурское (1) и Корбалихинское (2) рудопроявления. Суммарный вес критериев равен 100 %.

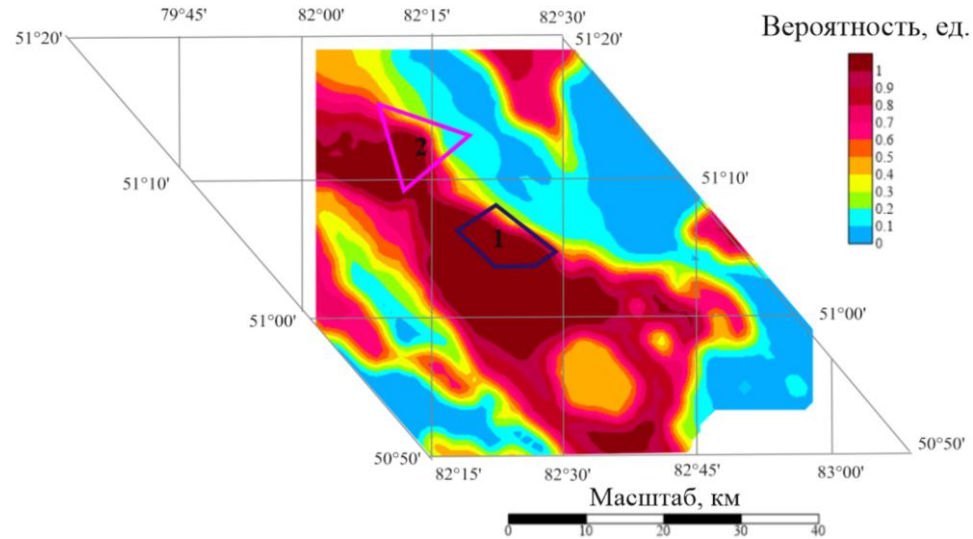


Рисунок 5 – Результаты прогнозной оценки потенциальной рудоносности Змеиногорско-Быструшинского прогиба, выполненной на основе алгоритма распознавания образов с обучением по двум эталонам (1 – Лазурское рудопроявление, 2 – Корбалихинское рудопроявление), построенная с привлечением структурно-вещественных и геофизических критериев рудоносности.

*Одним из результатов прогнозно-минерагенических построений является перечень рекомендаций, согласно которым наиболее перспективной для поиска скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения является центральная зона Змеиногорского рудного района. В пределах западного и восточного флангов выявлены отдельные структуры, имеющие перспективы обнаружения скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения по критериям, характеризующим «зоны слабой и умеренной денудации» и «низкочастотная составляющая потенциальных полей».*

*Полученные результаты прогнозно-минерагенической оценки Змеиногорского рудного района могут иметь практическое значение при планировании поисково-оценочных работ в его пределах.*

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация представляет собой законченную квалификационную работу, отражающую практическое решение актуальной задачи – прогнозную оценку закономерностей локализации скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения с выделением перспективных зон для дальнейших поисковых исследований в пределах Рудного Алтая.

По результатам выполнения диссертации сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Формирование богатой минерагенической зоны Рудного Алтая связывается с последовательным проявлением процессов каледонского и герцинского орогенеза. В пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба выявлена тесная связь рудогенеза с формированием девонских вулканических трогов базальт-риолитовой формации.

2. Палеореконструкции, составленные для Змеиногорско-Быструшинского рифтогенного прогиба, демонстрируют:

– проявление двух фаз ранне-среднедевонского рифтогенеза с формированием бимодальной базальт-риолитовой формации и внедрением интрузивов;

– на средне-позднедевонском этапе произошло активное внедрение гранитоидных батолитов;

– коллизионные процессы девона-среднего карбона привели к заложению надвиговых деформаций, искаживших характер заложения рудовмещающих формаций и проявление прожилково-вкрапленного колчеданно-полиметаллического оруденения.

Таким образом, наибольший интерес для прогноза зон локализации скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения, представляют 2 обстановки: вулканоплутонического пояса и рифтогенного прогиба активной континентальной окраины.

В результате комплексной геотектонической интерпретации выделены геолого-структурные и геофизические прогнозные критерии локализации скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения. Выводы, представленные в диссертации, имеют практическую значимость при планировании прогнозно-поисковых исследований в пределах Змеиногорского рудного района. Анализ потенциальной рудоносности перспективных зон требует привлечения дополнительных геохимических и минерогенических прогнозных оценок на детальном уровне локальных рудопроявлений.



## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. **Секерина Д.Д.,** Дергилёва Е.А., Егоров А.С. Закономерности локализации структур каледонского и герцинского орогенеза Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 52–62. – DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_93\_52-62.

2. **Секерина Д.Д.,** Егоров А. С. Особенности глубинного строения, геотектонической позиции и эволюционной истории Змеиногорско-Быструшинского прогиба Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 97. – С. 17-26.

*Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus/ВАК):*

1. Калинин Д.Ф., Егоров А.С., Большакова Н.В., **Секерина Д.Д.** Информационно-статистический прогноз нефтегазоносности в краевой части Корякско-Камчатской складчатой области // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2023. – № 1. – Т. 57. – С 63-88.

2. Данильев С.М., **Секерина Д.Д.,** Данильева Н.А. Локализация участков развития геомеханических процессов в подземных выработках по результатам трансформационно-классификационного анализа сейсморазведочных данных // Записки Горного института. – 2024. – С.1-12. – EDNIEWVBO.

3. Егоров А.С., Калинин Д.Ф., **Секерина Д.Д.** Геотектоническая модель глубинного строения Змеиногорского рудного района Рудного Алтая по данным геологической интерпретации комплекса геофизических съемок // Известия Томского политехнического университета.

Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 8. – С. 148–160. DOI: 10.18799/24131830/2024/8/4431.

*Публикации в прочих изданиях (РИНЦ):*

1. **Секерина Д. Д.** Особенности глубинного строения и обоснование нестандартных критериев рудоносности Змеиногорского рудного района//Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». (10–12 апреля 2024 г.), Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М.: ЦНИГРИ, 2024. – 452 с

2. **Секерина Д.Д., Егоров А.С.** Эволюционная последовательность проявления геодинамических обстановок Рудного Алтая, определивших рудогенез Змеиногорского рудного района //Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2024. Материалы LV Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2024. 284 с., с.149-153.

3. **Секерина Д.Д., Дергилёва Е.А.** Особенности глубинного строения каледонских и герцинских структур Рудного Алтая // Актуальные проблемы недропользования, тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. Том 1. Санкт-Петербургский горный университет. Санкт-Петербург, 2023, с.349-350.

4. **Секерина Д.Д.** Геолого-структурное районирование Змеиногорского рудного узла по результатам комплексной интерпретации// Рудная школа 2023. Сборник тезисов докладов IV Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ (15–17 февраля 2023 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М.: ЦНИГРИ, 2023. – 200 с.

5. **Секерина Д.Д., Дергилёва Е.А.** Эффективность применения трансформации геофизических полей

при картировании границ шовных зон и консолидированного фундамента//Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: материалы XXXIII молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова, г. Апатиты, 3–7 октября 2022 г. Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2022. — 260 с.

6. **Секерина Д.Д.,** Дергилёва Е.А. Применение отечественных геоинформационных систем для решения задачи классификации потенциальных полей//Новое в познании процессов рудообразования: Одиннадцатая Российская молодёжная научно-практическая Школа, Москва, 28 ноября – 02 декабря 2022 г.

7. **Секерина Д.Д.** Методика преобразования и классификации потенциальных полей с целью уточнения границ рудных объектов//Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXII молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова, г. Петрозаводск, 12–15 октября 2021 г.

8. **Секерина Д.Д.** Применение классификации и преобразования потенциальных полей с целью уточнения наиболее перспективных рудоносных участков» //Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса молодых ученых и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», том IV, 12-16 апреля 2021 г., с.89.

9. **Sekerina D.D.** Application of classification and transformant of potential fields in order to clarify the most promising ore-bearing areas // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers. Scientific conference abstracts. Saint-Petersburg, 2021. С. 279-281.