

На правах рукописи



Груздев Роман Викторович

**ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ И ПОИСКОВО-ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛИ
РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КУЛТУМИНСКОГО РУДНО-
ГО ПОЛЯ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Чита – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования (ФГБОУ ВО) «Забайкальский государственный университет», г. Чита

Научный руководитель: **Салихов Владимир Салихович**
доктор геолого-минералогических наук, профессор
кафедры Прикладной геологии и технологии
геологической разведки ЗабГУ

Научные консультанты: **Юргенсон Георгий Александрович**
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
главный научный сотрудник ИПРЭК СО РАН
Шафиков Анас Хайртдинович
кандидат геолого-минералогических наук, ведущий
геолог ООО «Востокгеология»

Официальные оппоненты: **Корольков Алексей Тихонович**
доктор геолого-минералогических наук, профессор
кафедры динамической геологии ИГУ
Калинин Юрий Александрович
доктор геолого-минералогических наук, главный
научный сотрудник лаборатории прогнозно-
металлогенических исследований ИГМ СО РАН

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»**, г. Томск

Защита состоится «25» февраля 2021 года в 14-00 часов на заседании Диссертационного совета Д 003.002.001 при Геологическом институте СО РАН по адресу: г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а, в конференц-зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГИН СО РАН и на сайте института (www.geo.stbur.ru).

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим присылать по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а ученому секретарю диссертационного совета Г.Н. Бурмакиной. E-mail: burmakina@ginst.ru.

Автореферат разослан « »

2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 003.002.01
кандидат геол.-мин. наук

Г.Н. Бурмакина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Недра Восточного Забайкалья известны своим богатством и по сей день остаются одной из крупнейших минерагенических провинций, являясь источником важнейших видов минерального сырья России. В пределах территории известно множество коренных месторождений меди, железа, свинца и цинка, вольфрама, молибдена, золота, флюорита, и др., а также комплексные золото-железо-медные месторождения. Юго-восточная часть указанной территории обладает высокой плотностью рудонасыщенности и относится к трём рудным районам: Будюмкано-Култуминскому, Газимуро-Заводскому и Шахтаминскому, составляющими здесь Газимурскую рудную зону. Восточное Забайкалье имеет сложное строение, обусловленное присутствием различных блоков докембрийской континентальной коры, а современный облик региона был сформирован в мезозойское время «в результате закрытия палеозойского Монголо-Охотского океанического бассейна и коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов» (Чугаев и др, 2013).

Отличительной особенностью целого ряда месторождений этого региона, принадлежащих единой Быстринско-Лугоканской группе, является их комплексность. По рудно-формационной принадлежности эти месторождения являются, главным образом, скарновыми (Быстринское, Култуминское и Лугоканское). На упомянутых месторождениях соотношение основных промышленных компонентов (Fe, Cu, Au, Ag) меняется в широких пределах.

Рядом исследователей перечисленные скарновые месторождения ранее относились к типичным представителям медно-порфировой формации. Однако при участии автора, проведенными ООО «Востокгеология» в 2006-2013 гг. горно-буровыми работами такая точка зрения не нашла подтверждения. В то же время многие элементы, характерные для медно-порфировой рудно-магматической системы, на этих объектах, бесспорно, существуют, вопрос об принадлежности вышеуказанных месторождений к скарново-медно-порфировому типу остается открытым.

По данным автора, в пределах Култуминского рудного поля велика вероятность обнаружения промышленных рудных скоплений скарново-медно-порфирового (с золотом) типа на слабоизученных его флангах и глубоких горизонтах. Благодаря современному, постоянно развивающемуся направлению объемного геолого-геофизического моделирования существует возможность переоценить перспективы рудоносности Култуминского рудного поля, что является актуальным для расширения минерально-сырьевой базы Забайкалья.

Целесообразность изучения и освоения комплексных руд Култуминского рудного поля объясняется возможностью их отработки относительно дешевым открытым способом, а также доступностью и близостью к транспортным и энергетическим коммуникациям с исторически сложившейся инфраструктурой: здесь функционируют горно-обогатительные предприятия, имеется железная дорога и сеть автомобильных дорог, тепловые электростанции. В 2017 г. завершилось строительство и введен в эксплуатацию Быстринский горно-обогатительный комбинат, на котором добывается и перерабатывается комплексная руда, аналогичная рудам Култуминского рудного поля, что значительно расширяет

перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов Юго-Восточного Забайкалья и вызывает повышенный интерес не только в современном социально-экономическом развитии региона, но и России в целом.

В связи с этим, проведение минерагенических исследований здесь являются актуальным как с научной точки зрения, так и в прикладном отношении – для разработки новых критериев поиска месторождений скарново-медно-порфирового типа с золотом, совершенствования методики разведки и техники оценки перспектив рудоносности месторождений-аналогов.

Цель работы: Оценка перспектив и закономерностей размещения рудных объектов Култуминского рудного поля на основе интерпретации разработанной объемной геолого-геофизической модели.

Задачи:

1. Провести обобщение и анализ особенностей геологического строения, структуры, вещественного состава, геофизических и минералого-геохимических характеристик Култуминского рудного поля.

2. Разработать модели рудно-магматической системы и рудно-метасоматической зональности Култуминского рудного поля.

3. Построить объемную геолого-геофизическую модель Култуминского рудного поля на основе распределения магнитной восприимчивости и эффективной избыточной плотности.

4. Разработать комплекс поисково-оценочных критериев и признаков рудных объектов Култуминского рудного поля и закономерности их локализации.

5. Оценить прогнозные ресурсы на основе выявленных геолого-структурных закономерностей распределения оруденения и их геолого-геофизической интерпретации.

Фактический материал и методы исследований. В основу работы положен фактический материал, собранный автором в ходе геологоразведочных работ на Култуминской площади в 2008-2013 гг. В работе использованы фондовые материалы предшественников, а также большой объем геолого-геофизических материалов, собранных в период 2007-2013 гг. ООО «Востокгеология» на Култуминской площади.

В диссертации приведены материалы геологоразведочных работ, которые включали: комплекс геофизических, геохимических исследований, проходку горных выработок, бурение скважин и геофизические исследования в них, камеральную обработку и интерпретацию полевых материалов, результаты петрографо-минераграфических работ (микроскопом Carl Zeiss Axioskop 40 APol), химико-аналитические и технологические исследования, проведенные в ОАО «ЛИЦИМС» (г. Чита), ООО «АЛС Чита-лаборатория» и в аналитической лаборатории ООО «Востокгеология» (п. Газимурский Завод).

Методика исследования состоит из нескольких этапов:

1. На первом этапе выполнены полевые геолого-геофизические и картографические работы с использованием геофизических методов: магниторазведка (с аппаратурой POS-2); гравиразведка (с аппаратурой CG-5); электроразведка методом СГ-ВП (с аппаратурой Мэри-24, ВП-1000) и электротомография (с комплектом аппаратуры Syscal Pro); металлометрическая съемка по вторичным

ореолам рассеяния. В результате этих работ получена современная кондиционная геолого-геофизическая основа для интерпретации.

2. На следующем этапе в специализированных программах выполнена камеральная обработка и интерпретация полевого материала. Лично автором проведена количественная интерпретация данных гравиразведки и магниторазведки, в результате которой построены объемные геолого-геофизические модели. На основе разработанных моделей эффективно решены задачи: геологического картирования, выявлены закономерности размещения рудных объектов, подготовлена основа для оценки перспектив рудоносности.

3. На заключительном этапе работ в программном комплексе Geosoft Oasis Montaj определены параметры для оценки прогнозных ресурсов (объем аномалиеобразующего тела, коэффициент рудоносности, эффективная объемная масса руды), на основе которых произведена оценка прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Научная новизна работы:

1. На основе обработки и интерпретации геолого-геофизических и геохимических данных выделен контур Култуминского рудного поля.

2. Разработаны объемные рудно-магматическая и геолого-геофизические модели Култуминского рудного поля, на основе которых:

а) доказано, что Култуминский массив имеет форму не штока или силла, а лополита, который в плане занимает около 19 км² и выклинивается на глубине не более 2 км;

б) выявлено, что рудоносная Култуминская интрузия локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя крыльями Култума-Ушумунской антиклинали в условиях динамического растяжения и повышенной проницаемости для постмагматических рудных растворов;

в) выделен обобщенный контур аномалиеобразующего объекта до глубины не менее 850 м;

г) предложен авторский вариант оценки прогнозных ресурсов по категории P_2 .

3. Разработаны поисково-оценочные критерии и признаки рудных объектов Култуминского рудного поля.

Идея работы: Прогнозная оценка ресурсов по категории P_2 осуществляется на основе интерпретации комплексной модели, которая определяется особенностями геологического строения, генезиса, вещественного состава, минералого-геохимических характеристик и геофизических полей объекта.

Степень проработанности и вклад автора в проведенное исследование. Наиболее существенная информация по изученности скарново-медно-порфирового типа оруденения на территории СССР начала появляться с конца 60-х гг., благодаря работам сотрудников ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ, ИГиГ СО АН СССР, ЗабНИИ и других геологических организаций. Значительный вклад в изучение, выявление общих типовых и отличительных особенностей скарновых месторождений в Забайкальском крае внесли И.М. Адельсон, Л.И. Шабынин, В. Д. Сазонов, А.Д. Сергеев, Э.Р. Ридер, Г.А. Юргенсон, Б.А. Гайворонский, С.П.

Шубкин, Г.А. Шевчук А.Б., Карманов, А.В. Кузнецов, С.В. Чипизубов, А.Х. Шафииков, А.В. Баранов, Ю.В. Павленко.

Несмотря на длительное систематическое изучение Култуминской площади вопросы о принадлежности оруденения к скарновой или медно-порфировой формации остается открытым. В 1982 г. В.Д. Сазоновым впервые высказано мнение о комплексном составе минерализации и принадлежности Култуминского рудного поля к Au-Mo-Cu-порфировой рудной формации. В 1989-1997 гг. на территории Култуминского рудного поля проведены геолого-геофизические работы С.П. Шубкиным, Е.А. Беляковым и Р.А. Сейфутдиновым, в результате которых, рудные объекты отнесены к типичным представителям медно-порфировой формации. В 2005-2006 гг. ООО «ГРК «Быстринское», а с 2007-13 гг. ООО «Востокгеология» под руководством Г.А. Шевчука, при непосредственном участии автора, выполнен комплекс поисковых и оценочных работ на Култуминской площади. К сожалению, в результате этих работ рудных объектов классического порфирового типа, с которыми предшественниками связывались основные перспективы характеризуемой территории, не выявлено. В тоже время выявлено и оценено среднее по запасам меди, серебра и железа и крупное по запасам золота Култуминское месторождение скарнового типа. Запасы утверждены и приняты на государственный учет ГКЗ Роснедра. Тем самым значительно укреплена новая минерально-сырьевая база медной отрасли на юго-востоке Забайкальского края, основу, которой составляют запасы детально разведанного и введенного в эксплуатацию Быстринского месторождения.

Однако по материалам ООО «Востокгеология», в том числе по результатам исследований автора, отмечено, что Очуногдинское проявление совместно с Култуминским месторождением обладает набором характерных элементов медно-порфировых рудно-магматических систем, что позволяет рассматривать оба объекта как единую длительно развивающуюся скарново-медно-порфировую рудно-магматическую систему.

В процессе проведения исследований автор принимал участие в полевых геолого-геофизических и картографических работах, проведенных ООО «Востокгеология»: гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, металлометрическая съемка по вторичным ореолам рассеяния, камеральной обработке и интерпретации полевых материалов, а также в подготовке материалов к отчету о результатах оценочных работ на северо-западном фланге Култуминского месторождения. Автором разработаны объемные геолого-геофизические модели Култуминского рудного поля; составлены схемы рудно-магматической системы и рудно-метасоматической зональности, присущие совмещенному скарново-медно-порфирового типу оруденения; разработан комплекс поисково-оценочных критериев и признаков рудных объектов Култуминского рудного поля и оценены перспективы его рудоносности.

Защищаемые положения:

1. Рудная минерализация Култуминского поля является продуктом формирования рудно-магматической системы, пространственно и генетически связанной с гранодиорит-порфирами шахтаминского комплекса юрского возраста.

Формирование разных типов руд обусловлено последовательным отложением ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций.

2. По результатам интерпретации объемной геолого-геофизической модели Култуминского рудного поля установлено, что рудоносная интрузия имеет форму лополита и локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали, а аномалиеобразующие рудные объекты прослеживаются до глубины 850 м.

3. На основе скорректированной модели рудно-магматической системы разработана поисково-прогнозная модель Култуминского рудного поля, включающая девять элементов. Она является основой для поисков и оценки месторождений-аналогов в Забайкалье.

Теоретическая и практическая значимость. В диссертационной работе на основании комплексных картографических и геолого-геофизических исследований и разработанных моделей решена актуальная научно-практическая задача по установлению принадлежности Култуминского рудного поля к скарново-медно-порфировой (с золотом) формации, определен комплекс поисковых признаков и критериев оруденения, оценены перспективы рудоносности, что дает возможность расширения минерально-сырьевой базы Забайкальского края. Переоцененные прогнозные ресурсы Култуминского рудного поля по категории P_2 укрепляют значимость нового в России медедобывающего центра, основу которого в настоящее время составляют запасы Быстринского месторождения (ЮВ Забайкалье).

Разработан комплекс поисковых признаков и критериев, включающих региональные и локальные геолого-структурные факторы скарново-медно-порфирового типа оруденения; предложена методика объемного моделирования, что расширяет перспективы прогнозирования и поисков новых объектов месторождений-аналогов. Поскольку понимание геолого-структурных факторов и закономерностей размещения рудных объектов, во-первых, облегчает и ускоряет поисковый геологоразведочный процесс, а во-вторых, позволяет проводить более детальную геолого-экономическую оценку и последующую эффективную эксплуатацию месторождения.

Разработанный комплекс поисково-оценочных критериев и признаков, выявленных на Култуминском рудном поле может использоваться для ускоренного поиска и типизации месторождений-аналогов в пределах Забайкалья, что будет способствовать рационализации всего геологоразведочного процесса. Примененный в работе подход к обработке геолого-геофизических данных внедрен автором в компании ООО «Востокгеология» и был опробован на нескольких геологоразведочных объектах Забайкалья и имел положительный результат.

Апробация работы. Рассмотренный алгоритм камеральной обработки и интерпретации геофизических данных успешно применялся автором на геологоразведочных объектах ООО «Востокгеология», таких как Быстринское и Чингитайское месторождения.

Основные положения и результаты работы докладывались на международных и всероссийских научно-практических конференциях: XII международные научно-практические конференции «Кулагинские чтения» (Чита, 2012); XV

международные научно-практические конференции «Кулагинские чтения» (Чита, 2015); научно-технические конференции студентов и аспирантов Горного института ЗабГУ (Чита, 2012-2016); VII всероссийская научная конференция «Чтения памяти член-корр. РАН С.Н. Иванова» (Екатеринбург, 2018); XIX международные научно-практические конференции «Кулагинские чтения» (Чита, 2019); XVI научно-практическая конференция и выставка «Инженерная и рудная геофизика 2020» (Пермь, 2020).

По теме диссертации опубликовано 8 научных статей, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждена большим объемом горно-геологических и аналитических работ, а также материалами защиты окончательных отчетов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 117 наименований. Объем работы составляет 157 страниц, в том числе 6 таблиц и 43 рисунка. Защищаемое положение 1 раскрыто в главе 2, положение 2 в главе 3, защищаемое научное положение 3 в главе 4.

В первой главе рассмотрено состояние изученности скарновых месторождений края, обобщены сведения о ранее проведенных работах, дана общая характеристика геологического и геофизического изучения площади. Во второй главе рассмотрено геологическое строение Култуминского месторождения и Очуногдинского рудопроявления, вещественный состав пород и руд, приведена последовательность развития территории рудного поля. В третьей главе рассмотрена методика изучения глубинного строения рудного поля, приведен алгоритм построения объемных моделей, составлены модели геолого-геофизической интерпретации. В четвертой главе разработана модель рудно-магматической системы, выделены поисково-оценочные критерии и признаки объектов Култуминского рудного поля, составлена поисково-прогнозная модель Култуминского рудного поля, рассмотрен авторский вариант оценки прогнозных ресурсов на основе интерпретации геолого-геофизических данных. В заключении приведены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за ценные консультации, поддержку и советы своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору В.С. Салихову.

Особую благодарность за всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах полевых геологоразведочных работ, камеральной обработке и интерпретации сотрудникам ООО «Востокгеология» – А.Б. Карманову, А.В. Кузнецову, А.Х. Шафикову, Н.Н. Бессонову, А.А. Смирновой, Н.Е. Чернышовой, А.А. Федоровой, И.В. Душевину. Автор искренне благодарен М.В. Кармановой за помощь в интерпретации гравитационных и магнитных аномалий.

Выражаю благодарность – А.И. Трубачеву, В.В. Ершову, Д.Л. Авгулевичу, Е.Ю. Юдицких, В.В. Оленченко, Г.А. Юргенсону, В.Г. Романову, Ю.В. Павленко, Ю.М. Овешникову, В.А. Овсейчуку за конструктивные замечания и советы, направленные на улучшение работы.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: Рудная минерализация Култуминского поля является продуктом формирования рудно-магматической системы, пространственно и генетически связанной с гранодиорит-порфирами шахтаминского комплекса юрского возраста. Формирование разных типов руд обусловлено последовательным отложением ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций.

На основании исследования и изучения литературных данных, результатов поисково-оценочных работ, проведенных ООО «Востокгеология» и собственных наблюдений, **геолого-генетическую последовательность развития** Култуминского рудного поля можно разделить на 3 основных этапа: 1 (дорудный) – формирование чехла древних платформ, внедрение крупных интрузивных массивов и даек, накопление в прогибах вулканотерригенных толщ; 2 (рудный) – рудный этап характеризуется внедрением рудоносного гранодиорит-порфирового Култуминского интрузива шахтаминского комплекса, образованием explosивно-гидротермальных брекчий, формированием гидротермально-метасоматических пород с магнетитовым и более поздним, наложенным по разрывной тектонике, золотым и медным оруденением, с поздней гидротермальной проработкой пород (пропилиты, аргиллизиты); 3 (пострудный) – внедрение малых интрузий кукульбейского комплекса, даек нерчинскозаводского комплекса, формирование терригенных толщ (рис. 1.).

Характеристика Култуминской рудно-магматической модели. Култуминская интрузия представлена юрскими гранодиорит-порфирами шахтаминского комплекса, имеет чашеобразную форму (лополит), локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя крыльями Култума-Ушумунской антиклинали в условиях динамического растяжения и повышенной проницаемости для продвижения постмагматических рудных растворов (транспортная система). Рудоносная интрузия прорывает гранитоиды ундинского комплекса перми, кембрийские терригенно-карбонатные отложения быстринской свиты и ерниченской толщи, в плане массив занимает около 19 км² и выклинивается на глубине не более 2 км (рис. 2.).

Гранодиорит-порфиры шахтаминского комплекса образуют лополитообразное тело, конформное в верхних частях разреза со слоисто-скалчатой структурой вмещающей рамы, сложенной породами быстринской свиты и ерниченской толщи. На контакте пород быстринской свиты (известняки, доломиты) и ерниченской толщи (алевролиты) с Култуминским массивом гранодиорит-порфиров развивается скарное золото-железо-медное оруденение, контур предполагаемого медно-порфирового оруденения размещен на глубине, а к поверхности выходят только маломощные минерализованные зоны с малосульфидным золото-медным оруденением.

В центральной части модели массив осложнен интенсивной трещиноватостью, проработан гидротермальными растворами и неоднократными прорывами газов, что привело к образованию explosивно-гидротермальных брекчий. Тело брекчий имеет воронкообразную форму, расположено в центральной части рудного поля на сопряжении Култуминского месторождения и Очуногдинского рудопроявления (рис. 1, 2.).

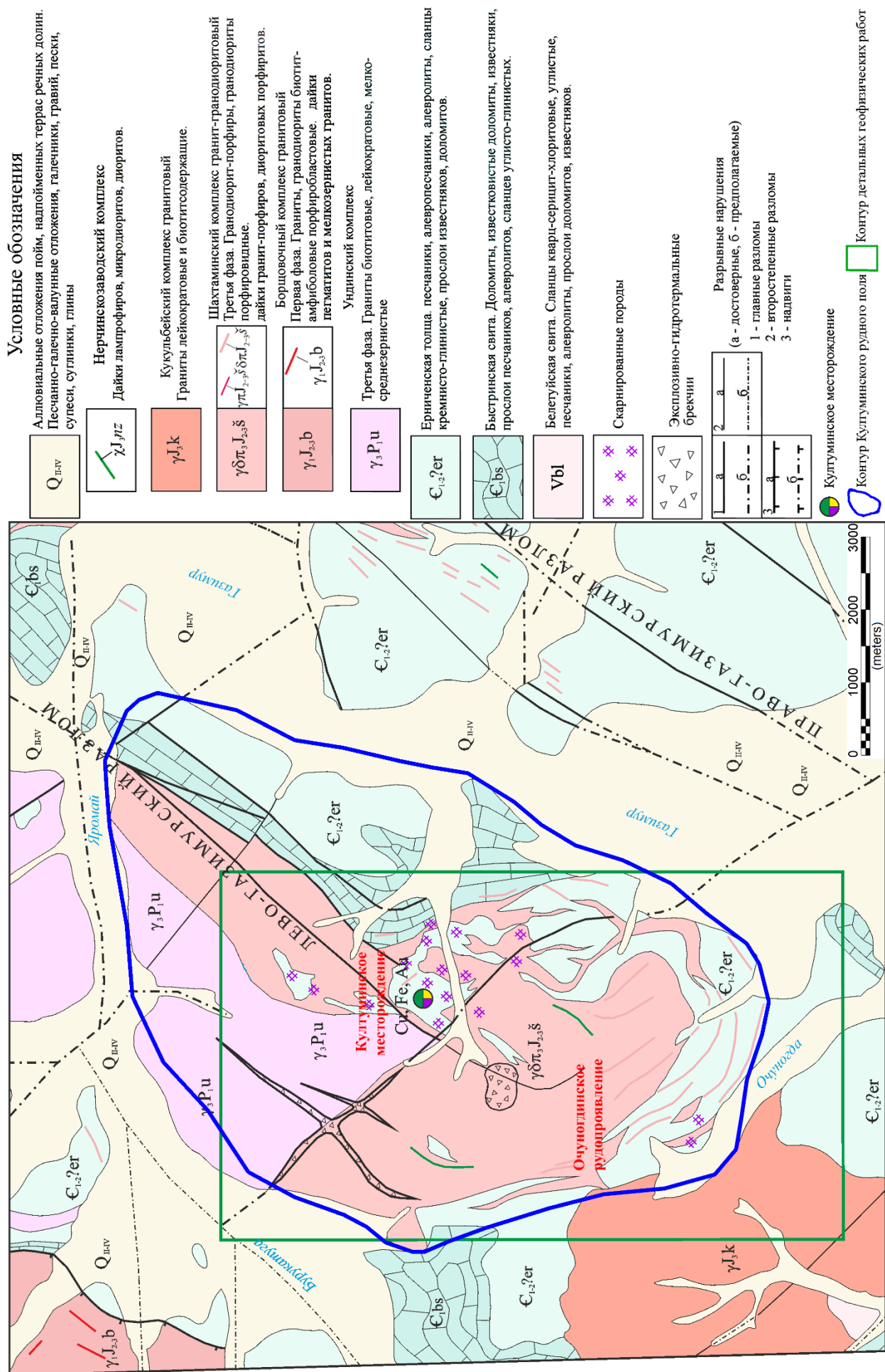


Рис. 1. Геологическая схема Култуминского рудного поля. Составлена по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г.

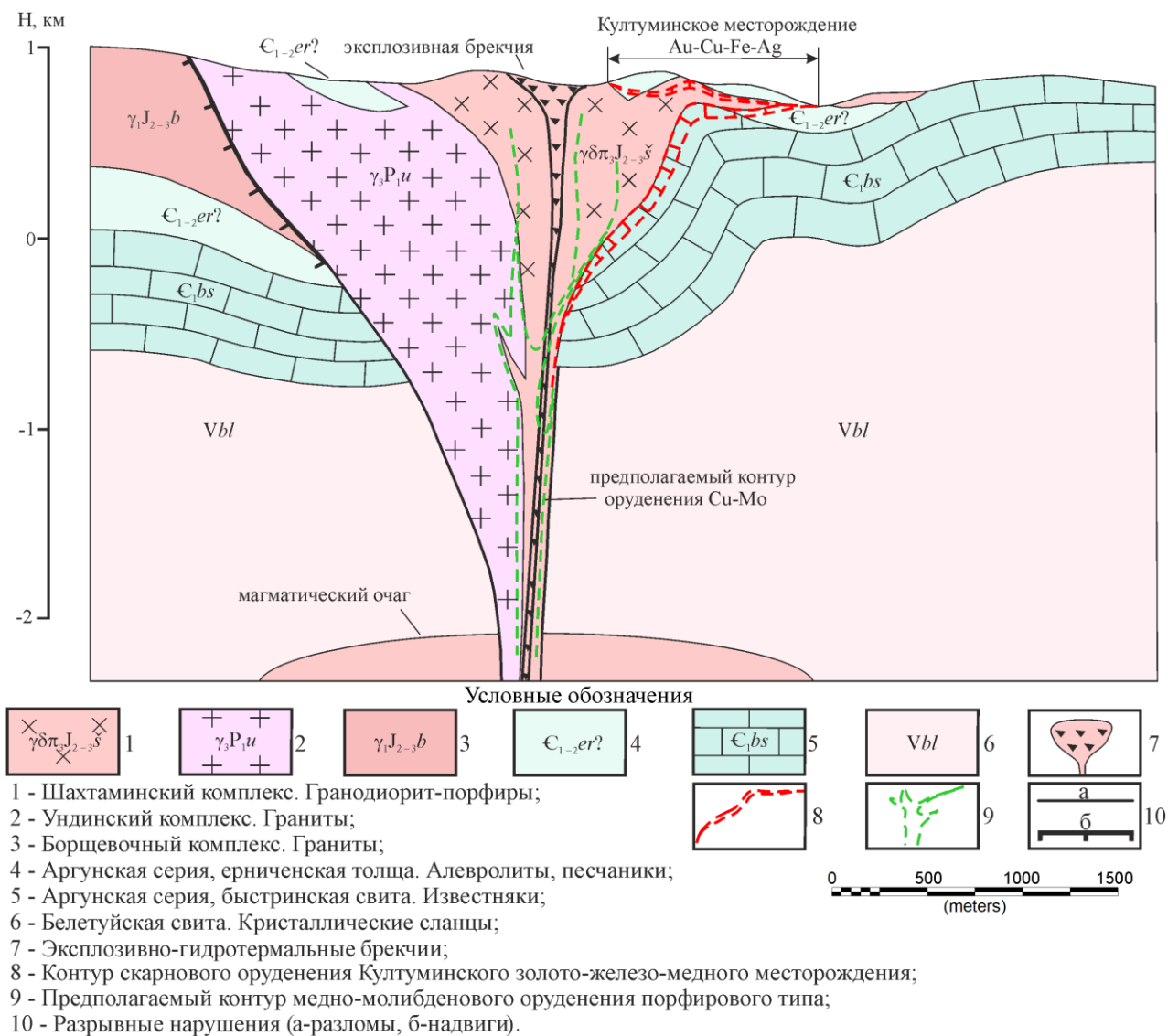


Рис. 2. Схема модели рудно-магматической системы Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2014 г.

Положение аномалиеобразующих объектов Култуминского рудного поля в геофизических полях представлено на (рис. 3). Критерии выделения аномалиеобразующих объектов приведены в условных обозначениях (рис. 3.).

Култуминская рудно-магматическая система выражена латеральной геохимической (по вторичным ореолам рассеяния) и метасоматической зональностью, характерной для медно-порфировых систем: от контакта интрузии к периферии содержание молибдена снижается, постепенно возрастает концентрация меди, появляется золото и серебро, далее к меди и золоту присоединяются свинец, цинк и др. (рис. 4, 5.).

Метасоматическая зональность проявлена в последовательной смене от центра интрузии к периферии: калишпатизированные породы, скарны, биотитизированные породы, а затем по поздним разрывным зонам березиты и аргиллизиты. Таким образом, в центральной части проявлен кремне-щелочной метасоматоз с молибденовым оруденением, по периферии щелочно-основной с золотым и медным оруденением (рис. 5.). Култуминское рудное поле характери-

зуется комплексным полистадийным (Fe, Cu, Au, Ag) оруденением: установленная последовательность рудообразования включает Mo-Fe-Cu-Au-Ag-Pb-Zn.

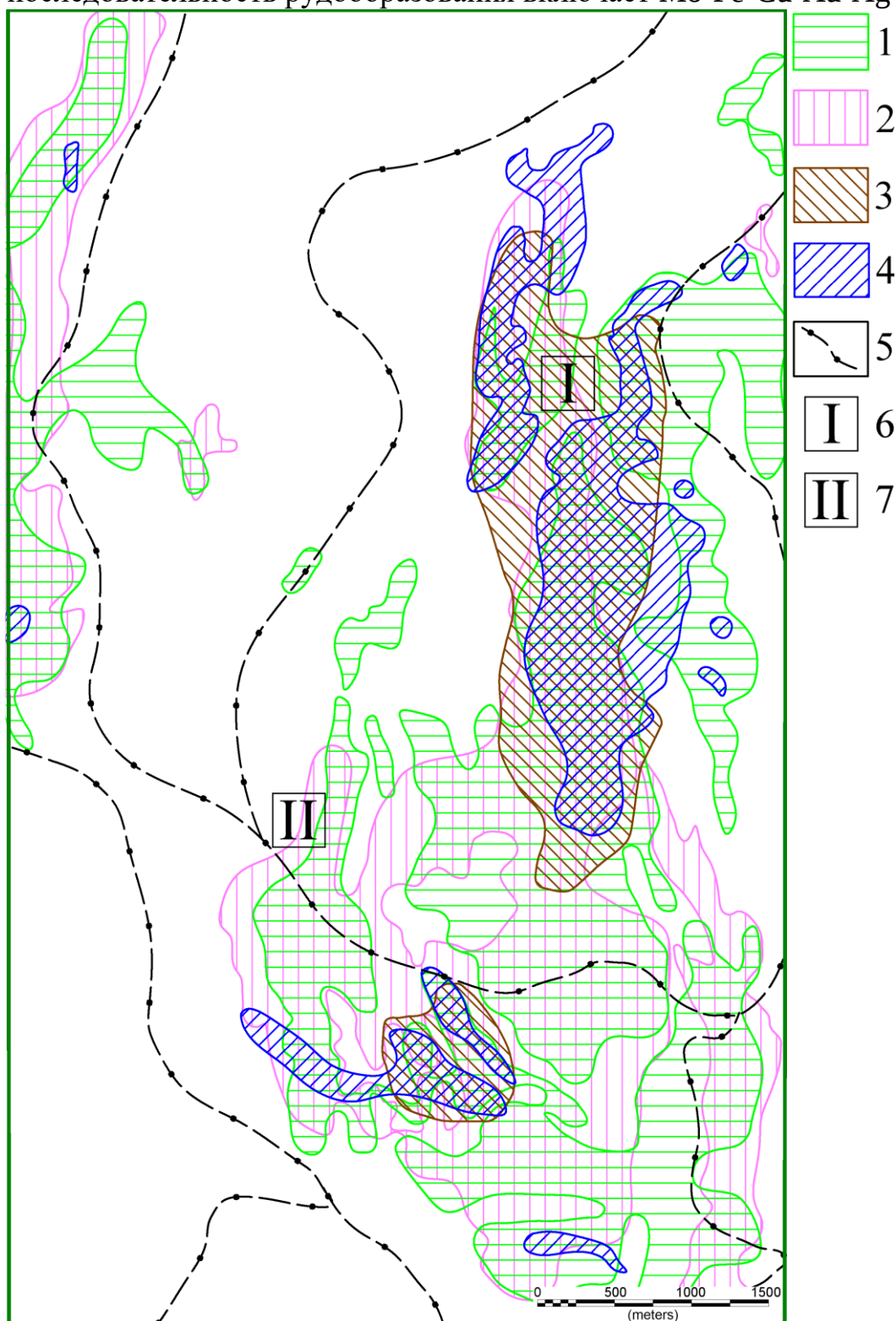


Рис. 3. Схема характерных геофизических аномалий Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2019 г.

1 – аномалии кажущегося сопротивления интенсивностью < 500 Ом·м; 2 – аномалии кажущейся поляризуемости интенсивностью $> 5\%$; 3 – локальные аномалии гравитационного поля интенсивностью $> 0,5$ мГал; 4 – аномалии магнитного поля интенсивность > 1000 нТл; 5 – геофизические границы структурно-вещественных комплексов; 6 – Култуминское месторождение (I); 7 – Очуногдинское рудопроявление (II).

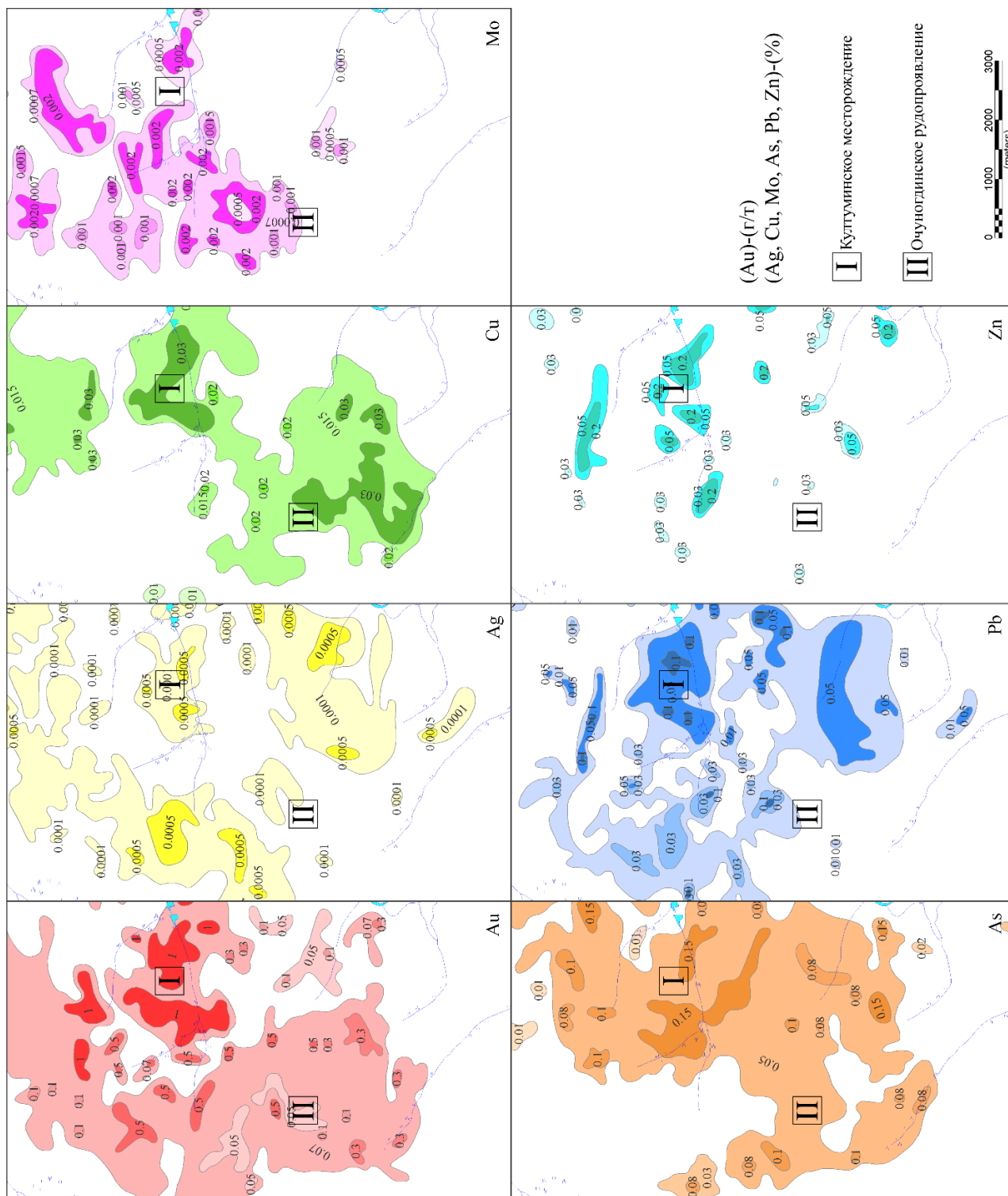
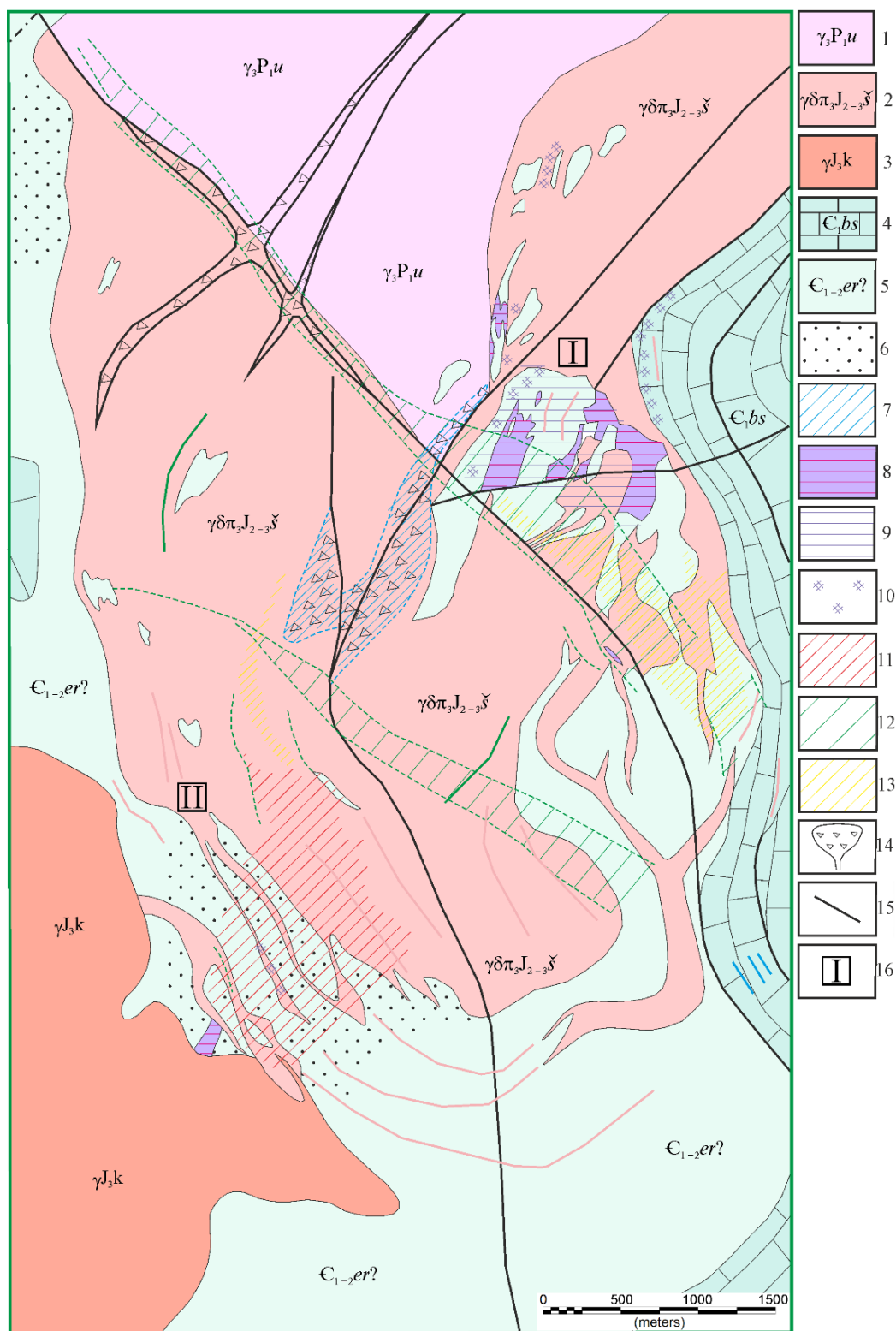


Рис. 4. Схема геохимической зональности Кулуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ПГО «Читагеология» и ООО «Востокгеология», 2013 г.



Условные обозначения: 1) ундинский комплекс: граниты; 2) шахтаминский комплекс: гранодиорит-порфиры; 3) кукульбейский комплекс: граниты лейкократовые; 4) быстринская свита: известняки, доломиты; 5) ерниченской толща: песчаники, алевролиты; 6) ороговикование; 7) калишпатизация 8) скарны с магнетитовой и золото-медной минерализацией; 9) скарны с сульфидной минерализацией; 10) слабо скарнированные породы; 11) биотитизация пород с сульфидной минерализацией; 12) березиты; 13) аргиллизиты; 14) взрывно-гидротермальные брекчии. 15) тектонические нарушения; 16) Объекты: I-Култуминское месторождение, II-Очуногдинское рудопроявление.

Рис. 5. Схема рудно-метасоматической зональности Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В. по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г.

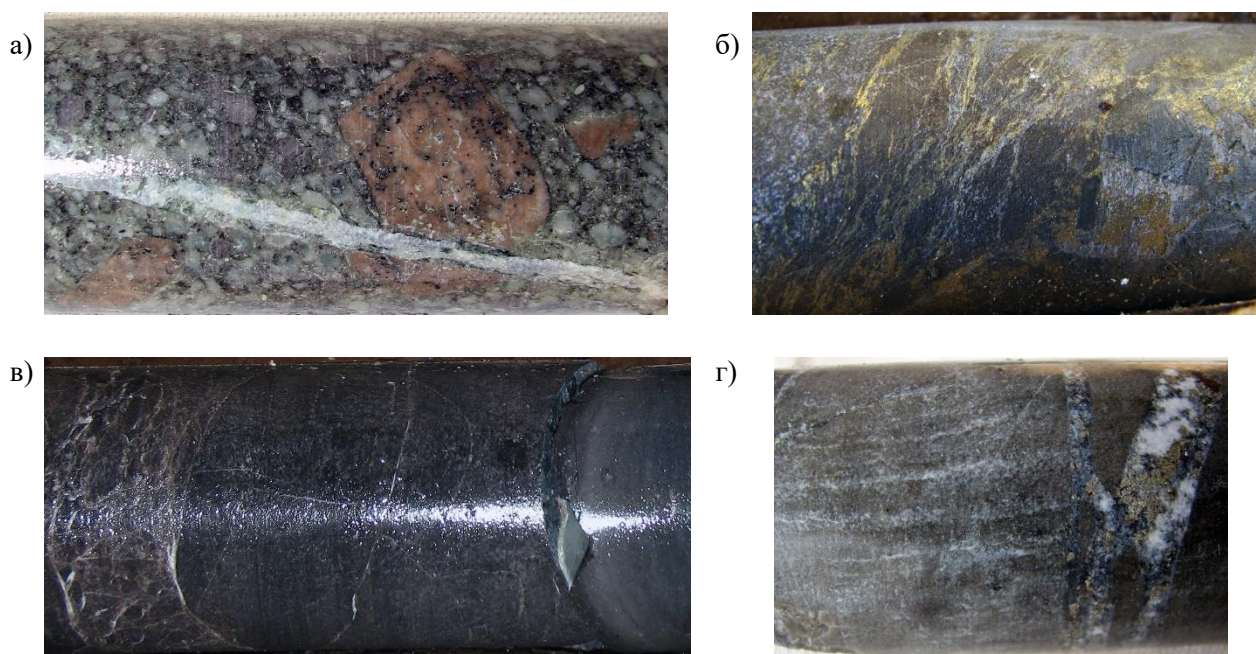


Рис. 6. Породы и руды Култуминского рудного поля (фото керна): а) гранодиорит-порфир (шахтаминский комплекс); б) магнетит-пироксен-гранатовый скарн с вкрапленностью халькопирита; в) биотитовый роговик по алевролиту; г) березитизированный алевролит с кварц-карбонат-пиритовым прожилком.

Главные рудные минералы рудного поля – Mgt, Py, Cp, редкие – Au, Ag. Основными минералами-носителями полезных компонентов первичных руд Култуминского рудного поля являются: меди – халькопирит; железа – магнетит; золота – золото в самородной форме; серебра – серебро в самородной форме и гессит. Выделены три преобладающие минеральные разновидности первичных руд – магнетит-сульфидная (халькопирит-пирит-магнетитовая золотосодержащая руда), сульфидная (халькопирит-пиритовая золотосодержащая руда) и малосульфидная (халькопирит-пирит-арсенопиритовая золотосодержащая). Текстура руд Култуминского рудного поля преимущественно вкрапленная, прожилково- и гнездово-вкрапленная, реже – массивная.

Второе защищаемое положение: По результатам интерпретации объемной геолого-геофизической модели Култуминского рудного поля установлено, что рудоносная интрузия имеет форму лополита и локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали, а аномалиеобразующие рудные объекты прослеживаются до глубины 850 м.

Построение трехмерных геолого-геофизических моделей в настоящее время стало востребованной процедурой в рамках общего процесса разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. В термины «геологическая модель» и «геологическое моделирование» на практике геологоразведочных работ не всегда вкладывается одинаковое содержание. Например, объемной моделью месторождения иногда называют пространственное распространение полезного ископаемого в виде его содержания в процентах. В других случаях это же название приписывается набору геометрических фигур, которыми аппроксимируются рудные тела и контактирующие с ними породы. Под геологическим моделированием нередко понимается физическое воспроизведение или

математическое описание геологических процессов. В связи с этим можно оперировать терминами «модель структуры» и «модель свойств». В данной работе «модель свойств» отражает результаты трехмерной интерпретации гравитационных и магнитных полей, а «модель структуры» является ее геологическим истолкованием. В любом случае под «моделью» можно понимать только приближенное, обобщённое и формализованное представление об основных геологических и геофизических характеристиках изучаемого объекта.

Интерпретация гравитационных и магнитных полей (инверсия по методу наименьших квадратов) выполнена средствами Zondmag (2D-3D). Программы позволяют производить двумерную и трехмерную интерпретацию гравиразведки и магниторазведки в автоматическом режиме. Алгоритм обработки подробно рассмотрен в программном руководстве Zondmag (2D-3D). Трехмерное моделирование выполнено в современной профессиональной геологоразведочной программе Geosoft Oasis Montaj.

Предпосылками применения количественной интерпретации гравитационных и магнитных полей, для разработки объемных моделей и оценки перспектив оруденения, являются аномальные физические свойства (плотность, магнитная восприимчивость) скарнов и скарнированных разновидностей пород Култуминского рудного поля. Магнетитовые скарны относительно вмещающей среды выделяются высокими значениями магнитной восприимчивости (более $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) и плотности (более $2,90 \text{ т/м}^3$). Последнее является важным поисковым фактором и возможностью построения объемных геолого-геофизических моделей интерпретации с оценкой перспектив оруденения. Основные параметры при интерпретации выбраны, согласно геологической изученности, уровня поля и опыта интерпретатора. При инверсии максимальная глубина нижнего слоя выбрана 2500 м, что практически всегда удовлетворяет исследователей (геологов и горняков), при изучении глубинного строения рудных месторождений.

Уровень нормального магнитного поля принят 58800 нТл, магнитное склонение $-10,5^\circ$, магнитное наклонение $69,8^\circ$. Средняя плотность вмещающих пород $2,73 \text{ т/м}^3$ (на основе исследований автора в период полевых работ ООО «Востокгеология»).

На схеме (рис. 7. – а, б) приведены результаты объемного моделирования по данным интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Для наглядного отображения аномалиеобразующего объекта на трехмерные модели интерпретации вынесены изоповерхности магнитной восприимчивости $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и плотности $2,90 \text{ т/м}^3$, которые реставрируют контур аномального скарнового объекта в пределах Култуминского рудного поля (рис 6. – в). Следует отметить, что нижняя граница обобщенного (по гравитационным и магнитным полям) аномалиеобразующего объекта находится на глубине около 850 м от поверхности земли, что позволяет утверждать о распространении комплексного скарнового оруденения до этой интерпретируемой глубины. Контура аномальных изоповерхностей магнитной восприимчивости и избыточной плотности не всегда совпадают между собой, но большая часть взаимных пересечений позволяет утверждать, что такой подход к интерпретации гравитационных и магнитных полей может иметь место в современной обработке геофизических данных.

Трехмерные модели интерпретации «модели свойств» наглядно отображают распределение плотностных неоднородностей и объектов с аномальной магнитной восприимчивостью (рис. 7. – а, б, в), что открывает широкие возможности дальнейшего истолкования природы аномальных объектов.

Руководствуясь известными физическими свойствами пород и руд (по данным ООО «Востокгеология»), слагающих Култуминское рудное поле, «модель свойств» подразделена на структурно-вещественные комплексы.

Таблица 1. Физические свойства СВК геолого-геофизической модели.

№ п/п	Структурно-вещественный комплекс	Средние значения плотности, т/м ³	Средние значения магнитной восприимчивости, 10 ⁻⁵ СИ
1	Гранодиорит-порфиры (Шахтаминский комплекс)	2,62	374
2	Граниты (Ундинский комплекс)	2,60	552
3	Граниты (Кукульбейский комплекс)	2,54	849
4	Алевриты, песчаники (Ерниченская толща)	2,71	1852
5	Известняки (Быстринская свита)	2,75	2039
6	Кристаллические сланцы (Белетуйская свита)	2,81	1625
7	Эксплозивно-гидротермальная брекчия	2,58	250
8	Скарнированные разновидности пород	2,90	5000
9	Магнетитовые скарны	3,25	10000

Благодаря взаимной корреляции физических свойств и параметров объектов, сопоставления выделенных аномалий с геологической картой, разработана геолого-геофизическая модель интерпретации «модель структуры», которая наглядно демонстрирует геологическую обстановку на Култуминском рудном поле (рис. 7. – г).

На геолого-геофизических моделях Култуминского рудного поля (рис. 7.) отчетливо прослеживается складчатая структура вмещающей среды, где реставрируется сложное строение Култума-Ушумунской антиклинали. В центральной части рудного поля картируется градиентная зона (рис. 7. – а) субмеридионального направления, которая контролирует зоны повышенной проницаемости пород и разделяет рудное поле на контрастные зоны и блоки различных рангов. К градиентной зоне приурочены проявления интрузий ундинского, шахтаминского и кукульбейского комплексов. На контакте пород быстринской свиты и ерниченской толщи с интрузиями шахтаминского комплекса развивается скарновое золото-железо-медное оруденение.

Таким образом, объемные геолого-геофизические модели интерпретации комплексно сочетают и сводят воедино представления о геологическом строении и оруденении объектов Култуминского рудного поля, позволяя в дальнейшем произвести прогнозную оценку ресурсов.

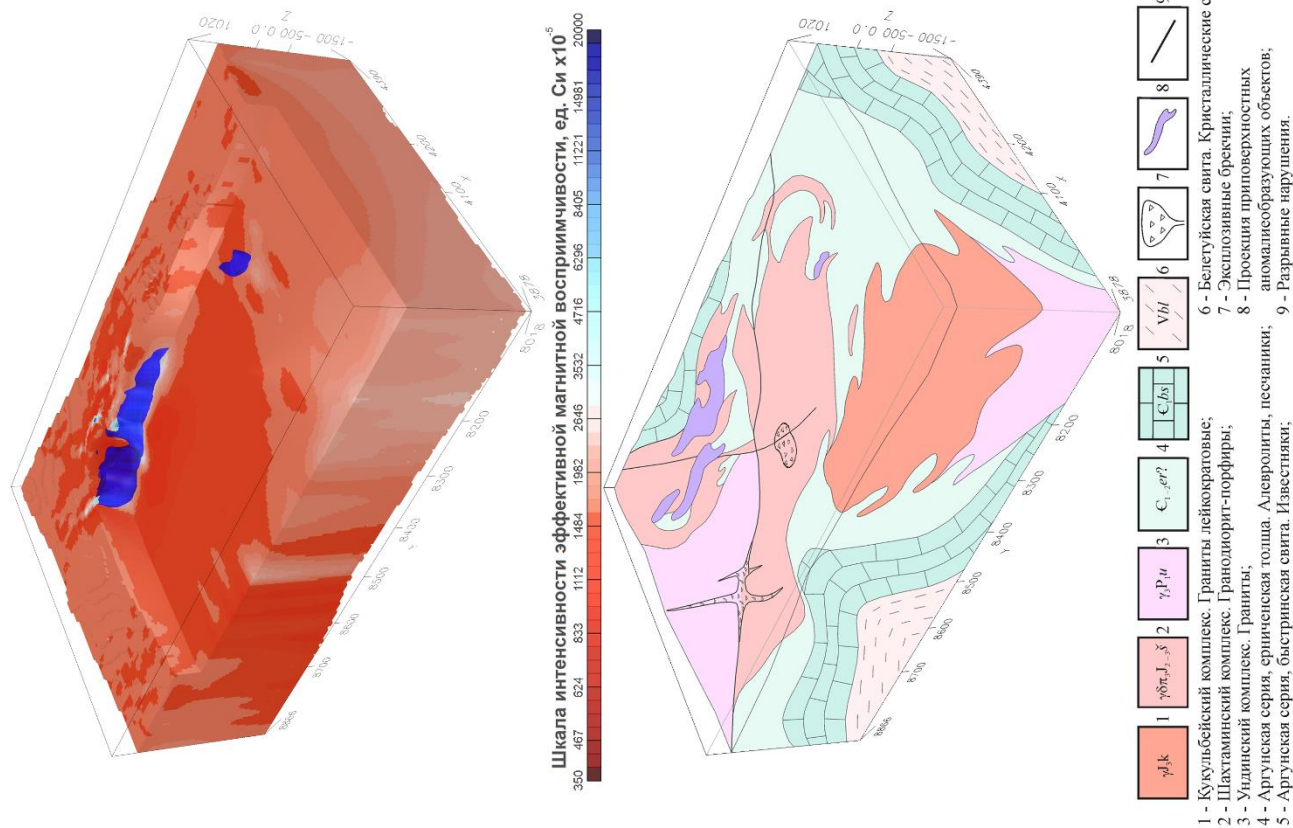
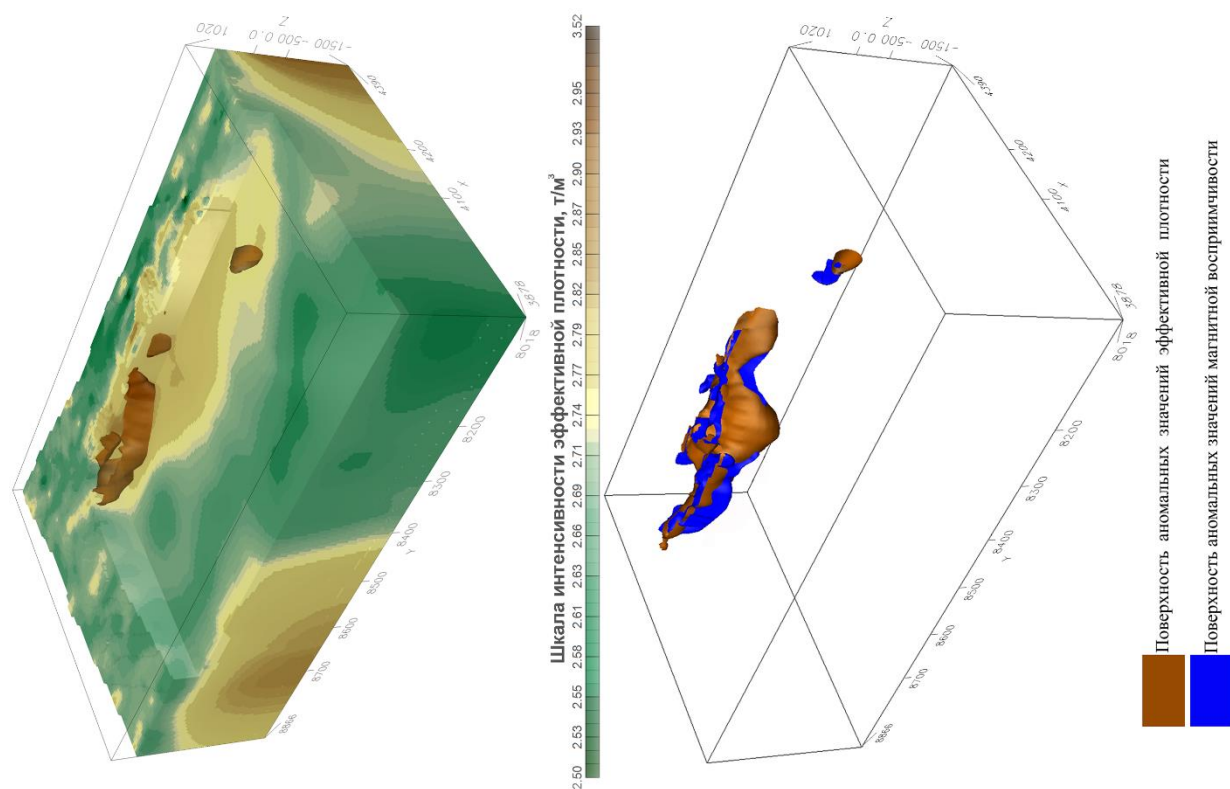


Рис. 7. Объемные геолого-геофизические модели Културминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Третье защищаемое положение: На основе скорректированной модели рудно-магматической системы разработана поисково-прогнозная модель Култуминского рудного поля, включающая девять элементов. Она является основой для поисков и оценки месторождений-аналогов в Забайкалье.

Прогнозная оценка Култуминского рудного поля осуществлялась в соответствии с нормативным документом (Кривцов А.И. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ЦНИГРИ, 2010. – 95 с.).

В данной работе использована методика оценки прогнозных ресурсов на основе результатов интерпретации геофизических данных.

Подход к оценке прогнозных ресурсов категории P_2 на основе геолого-геофизической модели интерпретации выглядит более обоснованным и экспрессным, так как целиком и полностью основан на физических свойствах изучаемого объекта. Основная идея оценки прогнозных ресурсов заключается в том, что ранее выделенные аномальные изоповерхности с плотностью более $2,90 \text{ т/м}^3$ и магнитной восприимчивостью более $10000 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$ включают в себе объем, который представлен совокупностью рудных объектов. Границы аномальных изоповерхностей не всегда совпадают (рис. 7. – в), причинами являются неоднозначности решения обратной задачи магнито- и гравиразведки, сложности геологического строения, разной сети наблюдений при полевых работах, неравномерное распределение магнитных минералов в скарнах и др. Поэтому, для оценки прогнозных ресурсов используется осредненная обобщенная блочная модель интерпретации (рис. 8.).

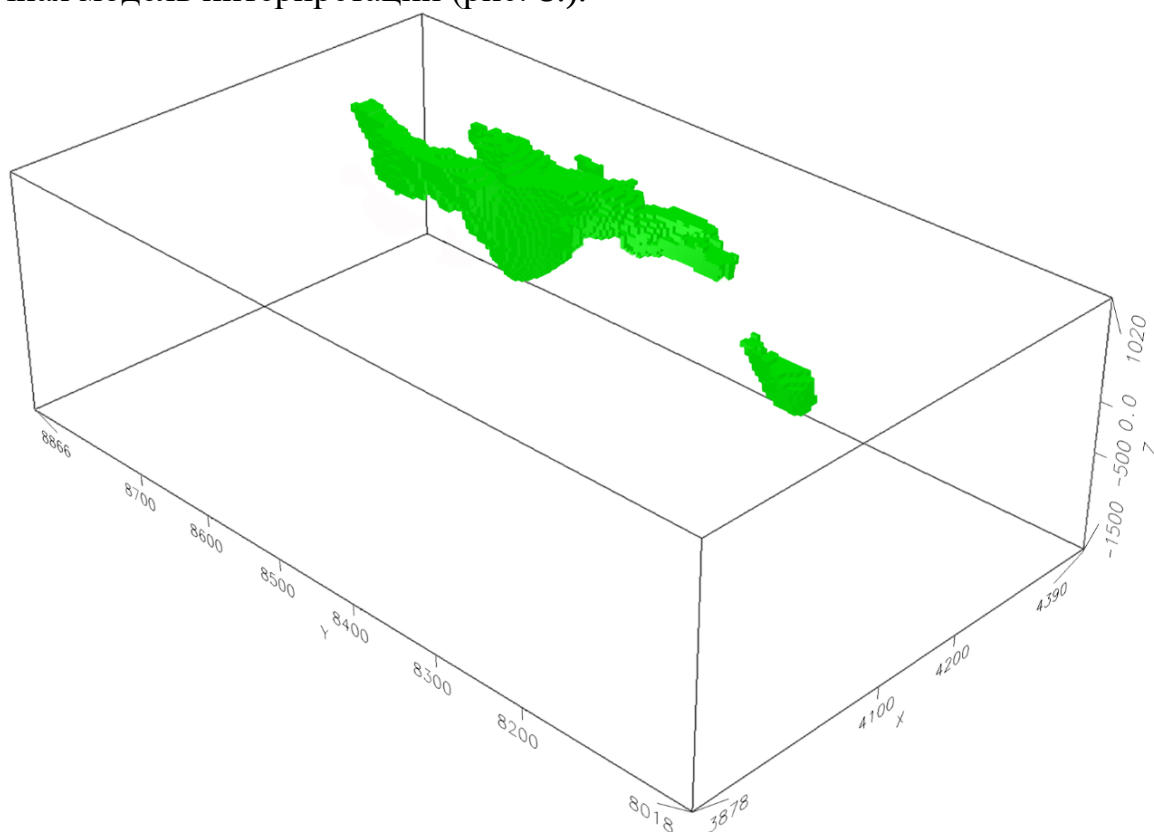


Рис. 8. Блочная модель интерпретации, используется для оценки прогнозных ресурсов. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Подготовка обобщенной блочной модели выполнена в Geosoft Oasis Montaj на основе алгоритма кластерного анализа объемных моделей эффективной плотности и магнитной восприимчивости. Следует отметить, что коэффициент корреляции для выделенных объектов по интерпретации магниторазведки и гравirazведки составил +0,88.

В пределах Култуминского рудного поля прогнозные ресурсы по категории P_2 оценены до глубины 300 м, что на данном объекте отвечает целесообразности извлечения руд при современном состоянии экономики и техники производства (по данным ООО «Востокгеология», 2013 г.). Вычисление объема аномалиеобразующего объекта в Geosoft Oasis Montaj производится автоматически в панели инструментов «свойства построенного объекта». Отсюда, на основе осредненной обобщенной блочной модели интерпретации (см. рис. 8.) объем аномалиеобразующего объекта до глубины 300 м составил около – 0,33 км³. Выделенный аномалиеобразующий объект в объеме (0,33 км³) сложен совокупностью рудных скоплений, поэтому для дальнейшей оценки прогнозных ресурсов необходимо вычислить коэффициент рудоносности, который отражает фактическое соотношение рудных интервалов, к выделенному объекту по интерпретации. Ниже приведен пример расчета коэффициента рудоносности.



Рис. 9. Расчет коэффициента рудоносности на примере скважины № 875 (геологический разрез по материалам ООО «Востокгеология», 2013). Составил Груздев Р.В., 2015 г.

На основе сопоставления 16 скважин, пробуренных в эпицентре выделенного по интерпретации аномалиеобразующего объекта, коэффициент рудоносности рассчитан как отношение суммы рудных интервалов (по данным бурения ООО «Востокгеология») к мощности аномального объекта. В результате статистических расчетов, приведенных по 16 контрольным скважинам, определена четкая корреляционная зависимость отношения суммарной мощности рудных интервалов к мощности аномального объекта, выделенного по результатам интерпретации. Коэффициент корреляции составил +0,94, достоверность аппроксимации функции $R^2=0,88$ (рис. 10.). В результате статистических расчетов на основе 16 рудных скважин средний коэффициент рудоносности в Култуминском рудном поле составил 0,30 ед.

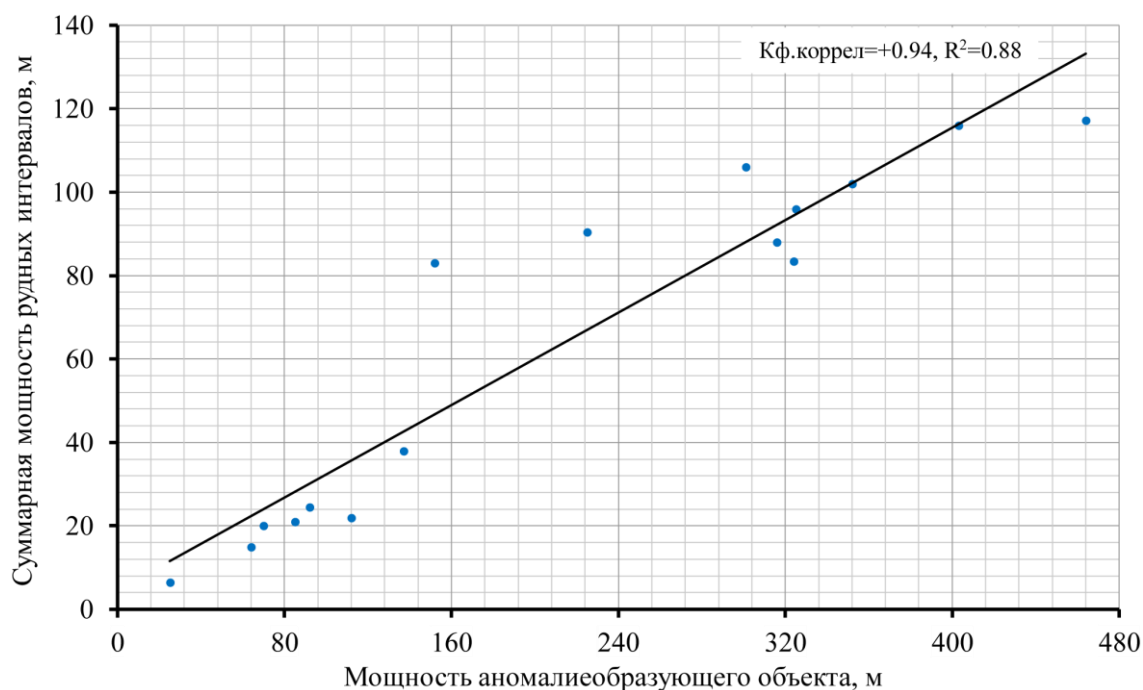


Рис. 10. Корреляционная зависимость суммарной мощности рудных интервалов от мощности аномального объекта по интерпретации. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Для оценки прогнозных ресурсов необходимо располагать сведениями объемной массы руды. По результатам интерпретации гравитационных полей выделенный аномалиеобразующий объект представлен блочной моделью с известными значениями эффективной плотности в ячейках. В блоке обработке Oasis Montaj в модуле статистики трехмерных моделей, вычислено среднее значение эффективной плотности аномалиеобразующего объекта, которое составило $3,01 \text{ т/м}^3$. На (рис. 11) наглядно продемонстрировано распределение значений эффективных плотностей в ячейках блочной модели интерпретации.

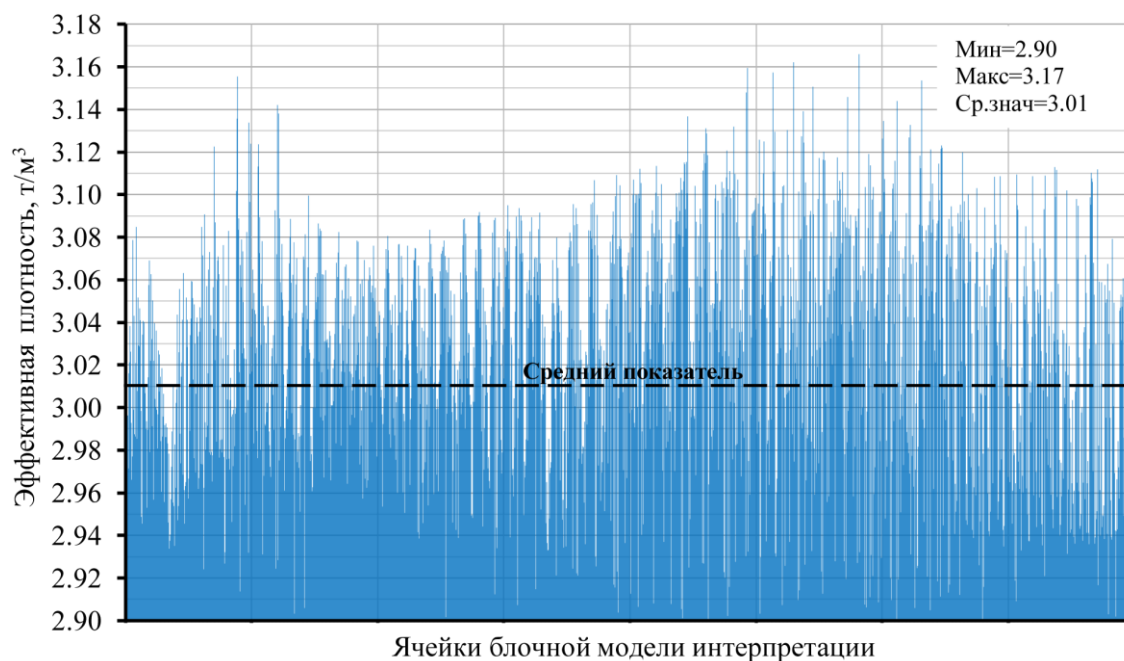


Рис. 11. Диаграмма распределения значений эффективных плотностей в ячейках блочной модели интерпретации. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

По материалам ООО «Востокгеология», объемная масса для магнетитовых руд в пределах 2,82-3,23 т/м³. Результаты вычислений объемной массы руды на основе авторской интерпретации соразмерны и согласуются с фактическими материалами ООО «Востокгеология». Таким образом, по данным геолого-геофизической интерпретации и сопоставления с результатами бурения ООО «Востокгеология» средняя объемная масса руды для оценки прогнозных ресурсов принята 3,00 т/м³

Согласно выполненной оценке, прогнозные ресурсы по категории Р₂ на Култуминском рудном поле (до 300 м), приблизительно, могут составлять 293,8 млн. т. руды. По данным оценочных работ, выполненных ООО «Востокгеология», средние содержания полезных компонентов составили: Cu – 0,33 %, Au – 0,66 г/т, Ag – 5,44 г/т, Fe_{магн} – 18,06 %. Соответственно прогнозные ресурсы этих металлов составили: Cu – 969,6 тыс. т, Au – 193,9 т, Ag – 1589,5 т, Fe_{магн} – 51,5млн. т. (табл. 2.).

Таблица 2. Оценка прогнозных ресурсов по категории Р₂ на Култуминском рудном поле.

Объект	Объем аномального объекта, км ³	Объем руды с учетом коэф-фициента рудоносности, км ³	Руда, млн. т.	Содержание				Ресурсы металлов			
				Cu, %	Au, г/т	Ag, г/т	Fe _{магн} , %	Cu, тыс. т.	Au, т.	Ag, т.	Fe _{магн} , млн. т.
Аномальный объект, ограниченный до глубины 300 м	0,33	0,098	293,8	0,33	0,66	5,44	18,06	969,6	193,9	1589,5	51,5
Аномальный объект, не ограниченный на глубину	0,50	0,150	450,7	0,33	0,66	5,44	18,06	1487,2	297,4	2438,2	79,1

Данный метод относится к геофизическому методу оценки прогнозных ресурсов, основан на корреляции геофизических аномалий их качественной и количественной интерпретации с построением объемных моделей. Используется предварительно для установления параметров рудоносных объектов (размер, форма, глубина залегания, объемная масса, понижающий коэффициент), которые затем берутся за основу методом «прямых расчетов ресурсов».

Практическую значимость имеет оценка прогнозных ресурсов для всего объема аномального объекта (не ограничиваясь глубиной 300 м), что раскрывает широкие возможности и высокий потенциал Култуминского рудного поля. По результатам оценочных работ, проведенных ООО «Востокгеология» Култуминское месторождение, квалифицируется как среднее по запасам меди, серебра и железа и как крупное по запасам золота. Соответственно продолжение геологоразведочных работ на Култуминском рудном поле является весьма актуальным и в перспективе может привести к строительству нового ГОКа, его продукцией будут медный с серебром и золотом и железорудный (магнетитовый) концентраты.

Подводя итоги, в результате комплексного исследования рудно-магматической системы Култуминского рудного поля разработана поисково-прогнозная модель скарновой золото-медно-порфировой формации (табл. 3.).

Таблица 3. Поисково-прогнозная модель Култуминского рудного поля.

Элементы модели	Култуминское рудное поле
1. Литолого-стратиграфические	Наличие благоприятных в литологическом отношении пачек терригенно-карбонатных пород нижнего кембрия быстринской свиты и ерниченской толщи (широкое развитие с частым переслаиванием в различном соотношении алевролитов, песчаников, известняков)
2. Гидротермально-метасоматические	Зональность в проявлении гидротермально-метасоматических изменений относительно порфировой интрузии (от центра к периферии): калишпатизация → скарнирование (с магнетитом) → биотитизация → березитизации → аргиллизации.
3. Геохимические	Вторичные и первичные контрастные, зонально размещенные ореолы: Au, Ag, Cu, Mo, As, Zn, Pb. Зональность проявляется по следующей схеме (от контакта интрузии к периферии): Mo→Cu+Au+As→Ag+Pb+Zn.
4. Минералогические	Аллювиальные и делювиальные россыпи и ореолы шлихового золота и минералов спутников (пирит, гидроксид железа), помимо золота, широко распространены скарновые минералы (гранат, магнетит, и др.); прожилковое окварцевание с гидроксидом железа, пиритом, арсенопиритом; преобладает мелкое золото
5. Магматические	Поля интрузивных массивов и даек средне-кислого состава позднеюрского шахтаминского комплекса (в том числе рудолокализирующих); среднеглубинные признаки формирования (до 1-1,5 км); относительно небольшие (до 20 кв. км.) размеры порфириновых интрузий
6. Метаморфические	Развитие роговиковых фаций контактового метаморфизма
7. Структурно-тектонические	Складки первого порядка (Будюмканский синклинорий), складки высоких порядков (Култума-Ушумунская антиклиналь); оперяющие разломы зон глубинных разломов (Лево-Газимурская ветвь, Богдаты-Бошагочинский разлом); площади развития поперечных складчатых дислокаций (флексуры, синформы, антиформы); развитие субширотных и субмеридиональных (разноориентированных) зон повышенной трещиноватости различной глубинности
8. Геофизические	Положительные аэромагнитные аномалии; наземные интенсивные (до нескольких десятков тысяч нТл) знакопеременные магнитные аномалии; положительные гравитационные аномалии (до первых единиц мГал); пониженные значения кажущегося удельного электрического сопротивления; повышенные значения кажущейся поляризуемости; отрицательные аномалии естественного электрического поля
9. Геотектонические	Коллизионная обстановка в результате закрытия палеозойского Монголо-Охотского океанического бассейна и коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов; рифтогенез, с развитием околосрединного вулканизма, вулканизма трансформных разломов; проявление орогенного этапа

Результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

- установлена парагенетическая связь комплексного (Cu, Au, Fe, Ag) скарново-медно-порфирового (с золотом) типа оруденения с шахтаминскими гранодиорит-порфирами юры и доказана их принадлежность к единой, длительно развивающейся рудно-магматической системе;
- рудоносная Култуминская интрузия в плане занимает около 19 кв. км и выклинивается на глубине не более 2 км, имеет форму лополита, локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали в условиях динамического растяжения и повышенной проницаемости для постмагматических рудных растворов;
- по вторичным ореолам рассеяния выявлена характерная для медно-порфировых систем геохимическая зональность в размещении полезных компонентов. От центра к периферии Култуминской интрузии содержание молибдена снижается, постепенно возрастает концентрация меди, появляется золото и серебро, далее к меди и золоту присоединяются свинец и цинк ($\text{Mo} \rightarrow \text{Cu} + \text{Au} + \text{As} \rightarrow \text{Ag} + \text{Pb} + \text{Zn}$);
- руды Култуминского рудного сформировались в результате последовательного отложения ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций, являются комплексными (Cu, Fe, Au, Ag) и могут быть отнесены к одному промышленному скарново-медно-порфировому (с золотом) типу оруденения;
- геофизические методы (магниторазведка, гравиразведка, электроразведка) уже на первых стадиях разведочных работ позволяют уверенно локализовать рудные объекты Култуминского рудного поля;
- разработана поисково-прогнозная модель Култуминского рудного поля. Выделенный комплекс элементов поисково-прогнозной модели Култуминского рудного поля может использоваться как отправной при поиске и разведке месторождений-аналогов;
- разработаны объемные геофизические модели интерпретации, позволяющие эффективно оконтуривать, локализовать и прослеживать на глубину аномалиеобразующие объекты, а также оперативно вычислять необходимые параметры для оценки прогнозных ресурсов;
- установлены корреляционные зависимости между мощностью рудных объектов по результатам бурения ООО «Востокгеология» и аномалиеобразующим объектом, выделенным по результатам авторской интерпретации;
- проведена авторская оценка прогнозных ресурсов в Култуминском рудном поле по категории P_2 , что дает прирост (на основании запасов, оцененных по категории $(C1+C2)$ ООО «Востокгеология», 2013 г.) руды – 92,82 млн. т., золота в количестве – 61,22 т., меди – 282,20 тыс. т., серебра – 502,45 т. и железа магнетитового – 16,28 млн. т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании комплексных геолого-геофизических исследований и разработанной модели Култуминского рудного поля решена актуальная научно-практическая задача по выявлению закономерностей размещения оруденения скарново-медно-порфирового (с золотом) типа, что дает возможность расширения минерально-сырьевой базы Забайкальского края.

Рекомендуется к применению разработанный автором комплекс поисково-оценочных критериев и признаков скарново-медно-порфирового типа оруденения для ускоренного поиска и типизации месторождений-аналогов в пределах Забайкалья, что будет способствовать более качественной оценке рудных объектов и рационализации всего геологоразведочного процесса.

При постановке дальнейших геологоразведочных работ в Култуминском рудном поле автором рекомендуется изучение глубинного строения и флангов рудного поля, особенно оконтуривание в плане и на глубину аномалиеобразующего объекта, выделенного по результатам авторской интерпретации гравитационных и магнитных полей.

Рассмотренный автором вариант интерпретации гравитационных и магнитных аномалий с последующим трехмерным моделированием и оценкой прогнозных ресурсов может быть предложен и рекомендован к использованию в современной обработке геофизических данных при поисках и разведке месторождений скарнового, скарново-медно-порфирового типов.

Минерагенический потенциал вмещающей рамы не велик, что позволяет утверждать, что основной источник оруденения – эндогенный, а ведущей скарново-рудной системой является магматогенная, включающая контактово-метасоматическую и фильтрационную подсистемы. Косвенно, это подтверждается детальными изотопными исследованиями свинца месторождений Аргунского блока, включая Газимурскую рудную зону. Полученные Pb-Pb данные свидетельствуют в пользу поступления рудных компонентов в рудообразующие системы месторождений из магматического источника и предполагают генетическую связь оруденения с юрским внутриплитным магматизмом. По своим изотопно-геохимическим характеристикам данный источник отвечает веществу континентальной коры орогенного типа (Чугаев и др., 2013). Изотопные исследования состава серы сульфидных минералов, проведенные на Лугоканской площади, близкой в генетическом отношении с Култуминским полем, свидетельствуют о глубинном эндогенном мантийно-коровом источнике рудных минералов (Редин, 2015).

Список работ опубликованных по теме диссертации

В журналах по списку ВАК Минобрнауки России:

1. Салихов В.С., Груздев Р.В. Геолого-структурные особенности Култуминского гранитоидного массива (Юго-Восточное Забайкалье). Вестник ЧитГУ, 2013. – № 06 (97). – С. 48-55.

2. Груздев Р.В. Рудно-магматическая модель Култуминского рудного поля на основе геолого-геофизических исследований (Юго-Восточное Забайкалье). Вестник ЗабГУ, 2015. – №01 (116). – С. 14-24.

3. Груздев Р.В. Геолого-геофизическая модель рудного месторождения на основе интерпретации гравитационных и магнитных полей (на примере Юго-Восточного Забайкалье). Вестник ЗабГУ, 2016. – №04. – Т. 22. – С. 4-24.

Публикации в других научных изданиях:

4. Груздев Р.В. Структурные особенности Култуминского рудного поля (Юго-Восточное Забайкалье) // Кулагинские чтения: XII Международная научно-практическая конференция. – Чита: ЧитГУ, 2012. – С. 13-15.

5. Груздев Р.В. Интерпретация данных потенциальных геофизических полей при изучении строения рудных месторождений (на примере Юго-Восточного Забайкалье) // Кулагинские чтения: XV Международная научно-практическая конференция. – Чита: ЧитГУ, 2015. – С. 192-198.

6. Груздев Р.В. Особенности формирования метасоматических образований и руд Култуминского рудного поля (ЮВ Забайкалье) // Чтения памяти С.Н. Иванова: VII всероссийская научная конференция. – Екатеринбург: УрО РАН, 2018. – С. 58-60.

7. Груздев Р.В. Особенности обнаружения объектов порфирового типа методом детальных гравиметрических исследований на территории ЮВ Забайкалья // Кулагинские чтения: XIX Международная научно-практическая конференция. – Чита: ЗабГУ, 2019. – С. 92-96.

8. Ромашко В.В., Константинов Д.Ю., Груздев Р.В. Применение методики измерений вертикального градиента силы тяжести для картирования локальных зон дробления и разуплотнения, выделения в разрезе малых интрузивных тел и определения внутреннего строения гранитоидных массивов // Инженерная и рудная геофизика 2020: XVI научно-практическая конференция и выставка. – Пермь, 2020.