

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: Салихов В.С., профессор,
доктор геолого-минералогических наук

Чита – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИЗУЧЕННОСТЬ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	13
1.1. Общие сведения района работ	13
1.2. Состояние изученности скарновых месторождений	16
1.2.1. Гипотезы происхождения скарнов	16
1.2.2. Физико-химические условия образования	18
1.2.3. Скарны и руды.....	20
1.2.4. Состояние изученности скарновых месторождений Забайкалья.....	22
1.3. Геолого-геофизическая изученность района работ	26
1.4. Геологическое строение района работ.....	28
1.4.1. Стратиграфия.....	29
1.4.2. Магматизм.....	34
1.4.3. Тектоника.....	40
1.5. Геохимическая характеристика	45
1.6. Геофизическая характеристика.....	51
ВЫВОДЫ	67
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОБЪЕКТОВ КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	68
2.1. Общие сведения строения Култуминского рудного поля	68
2.2. Месторождение Култуминское.....	73
2.3. Рудопроявление Очуногдинское	79
2.4. Вещественный состав рудовмещающих пород и руд	83
2.4.1. Петрографический состав рудовмещающих пород.....	83
2.4.2. Минеральный состав руд.....	85
2.5. Последовательность формирования метасоматических образований и руд	93
ВЫВОДЫ	102

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ РАЗВЕДКИ.....	103
3.1. Методология обработки и интерпретации геофизических исследований .	103
3.2. Построение объемной модели интерпретации гравитационных и магнитных полей	108
3.3. Построение трехмерной геолого-геофизической модели.....	115
ВЫВОДЫ	118
ГЛАВА 4. РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	119
4.1. Геолого-генетическая модель Култуминской рудно-магматической системы.....	119
4.1.1. Критерии обоснования модели рудно-магматической системы.....	124
4.1.2. Геофизические поля модели рудно-магматической системы	125
4.2. Поисково-оценочные факторы и критерии рудных объектов Култуминского рудного поля	128
4.3. Оценка прогнозных ресурсов Култуминского рудного поля	133
ВЫВОДЫ	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	142
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	145

ВВЕДЕНИЕ

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» [72].

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 минералогическо-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 программе Geosoft OasisMontaj определены параметры для оценки прогнозных ресурсов (объем аномалиеобразующего тела, коэффициент рудоносности, 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-геофизическая 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 км^2 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. Шафигов, 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 мед-

но-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, облег-

чает 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 (Быстринское, Чингитайское и др.) 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 со-

ставляет 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 рудопоявления, 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. Авгулеви-чу, 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.

ГЛАВА 1. ИЗУЧЕННОСТЬ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

1.1. Общие сведения района работ

Култуминская площадь (506,5 кв. км.) находится в Газимуро-Заводском административном районе Забайкальского края, в 95 км северо-восточнее районного центра п. Газимурский Завод (рис. 1.1.), в пределах планшетов N-50-XXXVI (N-50-143). В состав площади входит одноименное Култуминское рудное поле (42,5 кв. км.).

Площадь исследования охватывает северо-восточные отроги Борщёвочного хребта. Рельеф здесь типично среднегорный. Абсолютные отметки в пределах площади варьируют от 580 м до 1050 м, относительные превышения – от 200 до 300 м. Вершины сопок сглаженные, склоны водоразделов крутые (с уклоном до 20-30°). По северным склонам и долинам рек развита островная многолетняя мерзлота. Растительность района типично таежная. Значительная часть площади (90-95 %) покрыта смешанными лесами преимущественно из лиственницы и березы. Коренные обнажения крайне редки. Элювиально-делювиальные отложения слагают большую часть водораздельных пространств. Мощность их меняется от 0,5-1,0 м на водоразделах, до 3-5 м на склонах. Остальная площадь покрыта чехлом делювиально-пролювиальных и аллювиальных отложений мощностью более 3-5 м – до 15 м. Гидрографическая сеть представлена левыми притоками р. Газимур: рр. Яромай, Култумушка, Очунюгда и правыми – Мульдай, Курлея, Бошагоча, Богдать-Газимурская. Ширина р. Газимур достигает 65 м, глубина – до 2 м. Остальные реки имеют ширину до 5 м, скорость течения – 0,5-0,7 м. Берега рек в основном обрывистые. Долины в значительной степени нарушены старательскими отработками (разрезами, отстойниками, отвалами, дамбами). Климат района резко континентальный с большими колебаниями суточных и сезонных температур. Среднегодовая температура -5 °С. Осадков выпадает не более 440 мм, причем, основное их коли-

чество (около 60 % годовой нормы) приходится на июль и август. Зима (ноябрь-март) продолжительная и морозная (до -50°C). Устойчивый снежный покров образуется в ноябре. Его высота к концу зимы не превышает 15 см. Снег окончательно сходит в апреле. Почвы и грунты промерзают до глубины 3-5 метров. Сезонное промерзание сохраняется до середины июня.

Через центр площади работ проходит улучшенная грунтовая автодорога областного значения Приисковая – Газимурский Завод – Будюмкан, по которой движение автотранспорта возможно круглогодично. На остальной площади имеются редкие полевые и лесные автодороги.

Ближайший населённый пункт – с.Курлея – расположен в центре площади, в 3 км к востоку от Култуминского месторождения. Расстояние от с. Курлея до ближайшей станции Приисковая составляет 266 км (216 км грунтовой и 50 км асфальтированной дороги). Станция Приисковая, помимо железнодорожного сообщения с областным центром г. Читой, связана с ней и автодорогой (300 км).

Рис. 1.1. Обзорная схема района работ по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г. Масштаб 1: 10000000.

1.2. Состояние изученности скарновых месторождений

Промышленные месторождения скарнового типа относятся к специфическому генетическому типу рудных объектов и известны во многих горнорудных районах мира. Особенно часто и наиболее значительные из них формируются в качестве одного из фациальных минеральных типов в составе полиметаллических золото-медно-молибден-порфировых рудно-магматических систем, когда рудный процесс развивается в условиях карбонатных пород [38].

Эта группа месторождений относится к наиболее сложной, где определенной генетической связи руд и скарнов либо, не существует, либо она отдаленная парагенетическая. Однако в мировой рудногеологической практике уже более 75 лет не предложено иного названия для этой обширной, разнообразной и, наверняка, гетерогенной группы рудных образований. Рассмотрим подробнее особенности строения, состава и возможные модели образования для наиболее типичных месторождений, которые большинство геологов относят к скарновым [38].

1.2.1. Гипотезы происхождения скарнов

Происхождение скарнов и скарновых месторождений наиболее детально рассматривается в двух гипотезах – инфильтрационно-диффузионной, разработанной Д. С. Коржинским, и стадийной, предложенной П. П. Пилипенко [20; 33].

Инфильтрационно-диффузионная гипотеза базируется на концепции би-метасоматоза, объясняющей природу многих процессов, протекающих на разогретом контакте интрузивных силикатных пород и известняков. Здесь возникает неравновесная химическая система. Начинается встречно-диффузионный отток элементов из областей их повышенных концентраций. На фронтах подобных миграций происходят реакции между соединениями растворов и между ними и породообразующими минералами. При разной подвижности элементов в направлении к контакту разных сред (фронту диффузии) будет происходить понижение их концентрации в растворе с различной скоростью, обуславливая зональ-

ность минеральных парагенезисов. Относительная подвижность компонентов зависит от температуры процесса [20].

По П. П. Пилипенко, согласно стадийной гипотезе, главная масса вещества скарнов и руд привносится извне специфическими растворами. По мере снижения температуры состав привносимых веществ менялся, обуславливая минеральную зональность. Предполагается, что доминировали метасоматические процессы, протекавшие в шесть стадий [33].

1. Кремневая характеризовалась высокой температурой, привносом кремния и приводила к образованию диопсидовых пород (светлые роговики).

2. Алюмосиликатная осуществлялась в обстановке привноса кремния и алюминия и завершалась формированием железистых гранатов и пироксенов.

3. Галоидная протекала в условиях поступления хлора и появления скаполита.

4. Железная отличалась привносом железа и выделения его в форме закисных и окисных соединений. Накапливались магнетит, гематит и железистые алюмосиликаты – геденбергит, лиеврит (ильваит), гранаты и др.

В течение первых стадий формировались безводные скарны. Далее флюидный режим резко менялся.

5. В пятую флюидно-водную стадию в систему поступали H_2O и CO_2 и возникали породы, состоящие из роговой обманки, эпидота, иногда с примесью шеелита и кальцита.

6. Процесс завершала сульфидная стадия, в течение которой при низких температурах и постоянном привносе H_2O , H_2S и металлов образовывались сульфиды и сульфосоли. Хотя основная идея гипотезы подтверждена практикой, но и она не объясняет причину разнообразия продуктов рудогенеза для различных тектоно-магматических обстановок.

На основании геологических данных и экспериментальных разработок в настоящее время модель скарнового процесса можно представить в следующем трехстадийном виде [38].

1. Контактный изохимический метаморфизм протекает при температуре 900-650 °С и сопровождается внедрением магмы. На глубине образуется мощный ореол светлых бедных железом безрудных диопсидовых роговиков и мраморов.

2. Ранняя скарновая стадия проявляется спорадически, примерно занимая одну десятую периметра интрузии. При температурах 650-400 °С возникали «сухие» безводные темные эндо- и экзоскарны, состоящие из пироксенов, гранатов, скаполита, геденбергита, магнетита, гематита.

3. Поздняя флюидно-водная стадия протекает с участием H_2O , CO_2 , H_2 и H_2S , хлоритов и комплексных соединений металлов при температурах 450-300 °С. Образуются роговая обманка, эпидот, кальцит, сульфиды и сульфосоли.

1.2.2. Физико-химические условия образования

Скарны образуются в результате комбинированного воздействия тепла интрузий и горячих минерализованных газовой-жидких водных растворов [38].

При становлении любого интрузивного тела вмещающие породы испытывают термальный изохимический метаморфизм. По сланцам образуются контактовые роговики, по песчаникам – кварциты, по известнякам – мраморы. Зоны этих преобразований сплошным ореолом развиваются вокруг интрузий на любой глубине и при любом давлении.

Под влиянием флюидов, выделявшихся из твердеющей интрузии, в ее эндо- и экзоконтактах протекали аллохимические метасоматические процессы, образовавшие скарны. Эти явления происходили на небольших гипабиссальных глубинах, где внутреннее флюидное давление было в состоянии преодолеть внешнюю литостатическую нагрузку. Оптимальный диапазон глубин скарнообразования оценивается в 0,5-2,5 км [13].

Судить о возможном температурном режиме образования скарнов позволяют следующие данные [13; 14; 15; 16].

1. Синтез минералов в обстановке высокого потенциала кальция и присутствия легкорастворимых солей: андрадит и гроссуляр – 950-225 °С; диопсид, тремолит и волластонит – 750-350 °С, геденбергит – 320 °С.

2. По сводным диаграммам В.А. Жарикова, построенным по экспериментальным материалам (расчет плавления силикатных пород, реакции образования силикатов, температуры дегидратации водных силикатов и диссоциации карбонатов и т. д.), можно выделить четыре температурные фазы скарнов: волластонит-плаггиоклазовую – 900-750 °С; пироксен-гранатовую – 800-500 °С; гранат-эпидотовую – 500-450 °С; пироксен-эпидотовую – 400 °С.

3. По данным гомогенизации включений в скарновых минералах температурный интервал составляет 860-380 °С. Из приведенных выше сведений можно сделать вывод, что скарны начали образовываться при температуре около 900 °С, а завершился этот процесс при среднетемпературном гидротермальном режиме (около 300 °С).

Фациальная смена минеральных ассоциаций во времени и пространстве в связи со снижением температуры обусловлена возрастанием кислотности процесса, регулирующего химические потенциалы кальция, магния и железа. Эти ассоциации характеризуются вытеснением кальция магнием, а затем магния железом. В результате возникает последовательный ряд: волластонит-диопсид-салит-геденбергит-андрадит [13].

Классификация по составу. По составу исходных пород скарны разделяются на три типа: известковый, магнезиальный и силикатный. Известковые скарны наиболее распространены в природе и образуются по известнякам. Их состав: гранаты ряда гроссуляр-андрадит и пироксены ряда диопсид-геденбергит. Иногда широко развиты везувиан, волластонит, скаполит, амфиболы и эпидот. Магнезиальные скарны более редки. Они возникают при замещении доломитов и состоят из диопсида, форстерита, шпинели, флогопита, монтчеллита, гумита, серпентинита, паргасита, людвигита и реже других минералов. Силикатные скарны относятся к редким образованиям. Они формируются по гранитоидам, порфирам и их туфам, траппам, аркозовым песчаникам и алевролитам. Типоморфным минералом для них является скаполит.

1.2.3. Скарны и руды

Из анализа материалов по месторождениям скарновой группы можно выделить три типа взаимоотношений руд и скарнов.

1. Они образуются одновременно в течение единого генетического процесса. Руды входят естественным компонентом в скарновые ассоциации. В качестве примеров условно можно назвать только железорудные и борные месторождения. В этом случае рудные тела должны полностью совпадать с контурами развития скарнов. В последние годы появляется все больше данных о том, что магнетитовые тела, ассоциирующие со скарнами, представляют собой эпигенетическое внедрение рудного расплава и связаны с последними сложными парагенетическими связями. И руды, и скарны – продукты деятельности одной и той же магмы гранодиоритового или сиенитового состава.

2. Оруденение непосредственно сменяет скарнообразование. Руды занимают часть объема скарнов. Примерами могут служить некоторые залежи магнетита, боратов и касситерита.

3. Наложенное оруденение. Оно связано с процессами поздней флюидно-водной стадии скарнообразования. Таким способом формируется подавляющая масса месторождений этой группы. В данном случае рудные тела локализуются в скарнах только при условии, если последние по структурным и петрофизическим характеристикам благоприятствуют этому процессу. Отмечаются самые разнообразные варианты подобных взаимоотношений – от полного совпадения рудных и скарновых тел до их раздельного залегания.

Таким образом, скарнообразование не связано генетически с рудообразованием. Это два независимых параллельных процесса, пересекающихся в некоторых геологических ситуациях. На тип и масштабы рудной минерализации определяющее влияние оказывают: металлогеническая специализация магматических комплексов (медь в монцонитах, олово в гранитоидах и т. д.); эволюция рудно-магматических центров (молибден, вольфрам, полиметаллы в центрах гранитоидного магматизма); рудная и металлогеническая специализация провинций, районов и полей; региональные геодинамические обстановки. Об-

разование скарнов, как правило, предшествует формированию руд и в ряде случаев создает благоприятную литолого-фациальную, петрофизическую, структурную и минералого-геохимическую обстановку. Иногда магматические расплавы по пути движения в коровой среде ассимилируют ранее возникшие рудные накопления и аномальные концентрации полезных элементов в породе, обогащая ими скарнообразующие флюиды.

Типичные черты скарновых месторождений:

- геологическая позиция скарнов в зоне контактов интрузий и вмещающих карбонатных пород;
- признаки метасоматического происхождения скарнов (реликты неизмененных пород, моно- и биминеральные зоны, тыловые и передовые зоны, метазернистые структуры, ксенолиты неизмененных пород и др.);
- зональность скарновых образований относительно контакта интрузивный массив – вмещающая порода устанавливается по минеральным парагенезисам, минеральным видам и геохимическим данным;
- существование эндо- и экзоскарнов;
- присутствие минералов, указывающих на резкие перепады давления, температур;
- создание в скарнах контрастной физико-химической обстановки за счет резких градиентов температур, давления, концентраций различных компонентов и высокой активности CO_2 и H_2O , SiO_2 , присутствие B, F, Cl, S, соответственно падению температуры и участию воды выделяют два этапа «сухих» и «водных» скарнов;
- зависимость типов скарновых месторождений от индивидуального состава интрузивов и вмещающих их пород;
- плито- и жилообразные формы рудных тел;
- друзовые и вкрапленные текстуры и метазернистые структуры руд.

Типичные рудные формации скарновых месторождений: железорудная (Магнитогорское и др. в Южном Зауралье, Леспромхозовское, Тейское и др. в Горной Шории, Кузнецкий Алатау, Коршуновское в южной Сибири); свинцово-

цинковая в известковистых и магнезиальных скарнах (Дальнегорское на Дальнем Востоке, Алтын-Топкан в Таджикистане и др.); борная в магнезиальных скарнах (Верхнее в Приморье); молибден-вольфрамовая (Тыр-ны-Ауз в Осетии, Санг-Донг во Вьетнаме, Лянгар в Узбекистане); золоторудная (Тарданское в Кузнецком Алатау, Синюхинское на Алтае); медная в известковистых скарнах (Турьинское на Северном Урале, Саяк-1 в Казахстане); флогопитовая в магнезиальных скарнах (Слюдянка в Южной Сибири); лазуритовая в магнезиальных скарнах (месторождения на Памире в Афганистане).

1.2.4. Состояние изученности скарновых месторождений Забайкалья

В Забайкальском крае месторождения скарновой формации выступают как многогранный и перспективный вид полезных ископаемых, имеющих важное промышленное значение [36; 108; 111]. Месторождения скарнового типа представляют малоизученный тип минерального сырья, промышленные возможности которого в регионе до сих пор недооценены и далеко еще не выяснены в полной мере. Однако в последнее время практический интерес к скарновым месторождениям значительно повышается, поскольку они, несмотря на меньшие по сравнению с порфировыми объектами размеры, характеризуются более высокими концентрациями металлов, что может обеспечить их рентабельную эксплуатацию современными технологиями. Кроме того, зоны окисления этих месторождений могут сами представлять небольшие, но высокотехнологичные объекты селективной рентабельной добычи полезных ископаемых.

В пределах Забайкалья многочисленные поля скарнов установлены в большинстве рудных районов, однако наиболее крупные встречаются именно в юго-восточной части региона. К наиболее перспективным районам относятся Будюмкано-Култуминский, Газимуро-Заводский, Кличкинский и Шахтаминский, где скарновые объекты характеризуются комплексным оруденением [54; 89; 90]. На указанных объектах ведущим основным компонентом обычно является золото, вместе с которым в различных соотношениях выступают медь, висмут и попутные – серебро, вольфрам, молибден, кобальт и др. При этом эф-

фект комплексности руд обеспечивает высокие технико-экономические показатели освоения прогнозируемых месторождений, недостижимые для традиционных монометалльных объектов.

В региональном отношении золото-скарновое оруденение юго-восточной части Забайкалья развито в зоне влияния Монголо-Охотского глубинного разлома, пространственно тяготея как к самому разлому, так и связанным с ним отдельным фрагментам этой структуры – оперяющим магмо- и рудоконтролирующим зонам, образовавшимся в период мезозойской тектоно-магматической активизации. Указанные зоны имеют северо-восточное, реже северо-западное простирание и четко выделяются по геолого-геофизическим данным. Основные выделенные зоны с золото-скарновым оруденением: Газимуро-Борзинская, Приаргунская, Урюмская и др. [115; 117].

Распространение скарнов на территории Юго-Восточного Забайкалья, как правило, ограничивается площадями развития карбонатных отложений, более или менее равномерно распределяется по всему стратиграфическому разрезу от верхнего протерозоя до нижнего палеозоя, с незначительным распространением их в нижнем протерозое и девоне. Карбонатные породы и скарны обычно залегают в виде изолированных полей по периферии интрузивных массивов, или наблюдаются в виде различного размера ксенолитов среди гранитоидов. Закономерной связи между размерами полей карбонатных пород и экстенсивностью скарнопроявления не наблюдается. Отмечается наибольшая насыщенность скарнами и приуроченность наиболее перспективных скарновых объектов к толщам, представленным частым переслаиванием терригенно-осадочных пород с маломощными карбонатными прослоями, а не к монотонным карбонатным отложениям.

На рассматриваемой территории в большинстве случаев скарновое оруденение относится к халькофильному типу и связано с позднемезозойской гранодиорит-монцонит-сиенитовой формацией. В материалах ООО «Востокгеология» неоднократно подмечено, что рудоносные скарновые объекты чаще приурочены юрским гранодиорит-порфирам шахтаминского комплекса. Указанные

рудоносные породы обычно слагают небольшие массивы и являются порфировой составляющей длительно развивающихся рудно-магматических систем. Скарны обнаруживают пространственную и, по-видимому, парагенетическую связь с малыми интрузивными телами в среднем до 2-3 км в диаметре. По глубине формирования, соответственно условиям становления охарактеризованных выше рудоносных порфировых интрузий, связанные с ними месторождения относятся, как правило, к гипабиссальной до субвулканической фации глубинности. Последнее часто подчеркивается развитием в рудных полях эксплозивных вулканических брекчий, или специфических минералов-индикаторов близповерхностных фациальных условий рудообразования – геленита, маггемита, теллуридов золота и висмута и др., а также геохимически гибридным составом руд в результате телескопирования в рудоносных зонах различных по составу минеральных ассоциаций. Чрезвычайно характерно для золоторудных скарновых полей широкое развитие пород дайковой серии мезозойского цикла, образующие протяженные и достаточно широкие пояса северо-западного и реже северо-восточного простиранья. В разной степени эти особенности отмечены для Уронайского, Култуминского, Лугоканского и других месторождений.

Среди рассматриваемых объектов золото-скарнового типа в количественном отношении преобладают месторождения и рудопроявления, относящиеся к магнезиально-скарновой метасоматической формации. К этой генетической группе относятся наиболее значительные (потенциально промышленные) месторождения – Култуминское, Быстринское, Железный Кряж, Чингитайское и многие другие рудопроявления, где характерна минерализация магнезиальных боратов (людвигит, ашарит, реже котоит, флюоборит) и в меньшей степени боросиликатная (аксинит, турмалин иногда дюмортьерит) [98].

К известково-скарновой генетической группе относятся крупные Уронайское, Лугоканское и мелкое по запасам Андрюшкинское месторождения, где исключительно распространены боросиликаты – аксинит, турмалин [103]. По генетическому положению этой минерализации во времени в общем процессе рудообразования скарновых полей она как бы соответствует широко распро-

страненной во многих золото-сульфидных месторождениях ЮВ Забайкалья минерализации ранней кварц-турмалиновой стадии и является чутким индикатором различного химического состава замещаемых при метасоматозе пород, или скарнов той или иной формации.

По данным Л.И. Шабынина, в подавляющем большинстве скарновых месторождений ЮВ Забайкалья руды полиметалльны. В связи с этим возникают вопросы наложенности, многостадийности. Наиболее вероятно, что по времени рудоотложения минерализация является послескарновой и относится к стадии кислотного выщелачивания. Типичные общие особенности золотосодержащих месторождений скарнов ЮВ Забайкалья – наличие минералов висмута или повышенное содержание этого элемента в качестве примесей в других рудных минералах, а также значительная магнетитовая минерализация [40; 41].

Месторождения скарновой формации выделяются комплексными лито-геохимическими, металлометрическими и шлиховыми ореолами, которые часто пространственно совпадают с геофизическими аномалиями значительных площадных размеров. В гравитационном поле скарновые месторождения выделяются повышенными значениями аномалии силы тяжести, обусловленные, прежде всего, большой избыточной плотностью пород порядка $0,3-0,5 \text{ т/м}^3$ и более. На месторождениях магнетитовых скарнов значения аномального магнитного поля, за счет высокой магнитной восприимчивости пород, могут достигать десятки тысяч нТл. Наложённая сульфидная минерализация в электрических полях отмечается повышенными значениями кажущейся поляризуемости интенсивностью до 3-12 %, и пониженными значениями кажущегося сопротивления. В естественных электрических полях, за счет интенсивно протекающих окислительно-восстановительных процессов аномалии ЕП достигают до 300 мВ. В большинстве геофизических полей месторождения скарновой формации контрастно выделяются интенсивными аномалиями [112; 114].

Таким образом, на основе обобщения и анализа имеющихся материалов по изученности месторождений скарновой формации ЮВ Забайкалья выше были рассмотрены основные характеристики скарнового оруденения, которые мо-

гут выступать в качестве отправных или первоочередных звеньев в освоении крупных рудных узлов с перспективным комплексным оруденением скарнового типа.

1.3. Геолого-геофизическая изученность района работ

Геологические исследования района работ начались с 1799 года, когда были открыты Преображенское месторождение и Култуминский прииск серебро-свинцовых руд. В середине XIX века были открыты богатые россыпи Култуминской группы, отрабатывающиеся до настоящего времени.

До 50-х годов XX века на площади проводились ревизионные, поисковые и съёмочные работы, направленные на поиски россыпей олова, золота, а также коренных месторождений молибдена, вольфрама, олова и золота. Заметных положительных результатов получено не было.

Систематическое геологическое изучение района начато во второй половине XX века. Исследуемая территория расположена на площади листа Государственной геологической карты СССР масштаба 1:200000 (N-50-XXXVI), составленной С.М. Синицей [110]. Это была первая кондиционная карта, при составлении которой были обобщены и унифицированы многочисленные работы предшественников, а также использованы материалы практически одновременно проведённых геологических съёмок масштаба 1:50000 В.А. Гунина и А.И. Шадрина [91; 113]. В результате была создана единая унифицированная легенда, на основе которой составлена Государственной геологической карты СССР масштаба 1:200000 (N-50-XXXVI), и карта полезных ископаемых района. В тот же период в районе изучались проявления железорудных скарнов, в которых была установлена борная, медная и золотая минерализация. Масштабы магнетитовых руд были оценены как непромышленные, остальной минерализации не было дано окончательной оценки [85; 86; 101; 102].

Последующими поисковыми работами были оконтурены обширные ореолы золотоносного делювия и геохимические аномалии ряда сопутствующих рудных элементов – Cu, As, Mo, Bi, Pb, Zn, Sb и др. [116]. Специфический ком-

плексный состав рудной минерализации, пространственно связанной с Култуминской порфировой интрузией шахтаминского комплекса, был определён как свойственный рудным полям Au-Mo-Cu-порфировой рудной формации, что и было впервые высказано В.Д. Сазоновым [106].

В течение следующих двадцати лет было проведены аэро- и космосъёмки, множество тематических работ по геологическому, геофизическому, геохимическому изучению района. Была составлена легенда для Аргунской зоны [87].

В последние годы прошлого столетия на территории были проведены геолого-геофизические работы С.П. Шубкиным, Е.А. Беляковым и Р.А. Сейфудиновым [117]. В результате геологического доизучения района в схему стратиграфии и магматизма были внесены существенные изменения и дополнения. Наибольший интерес заслуживает решение вопроса металлогении района. Было проведено геологическое доизучение с новых позиций, более успешно, чем ранее, проведена интерпретация и анализ геофизических материалов, увязаны между собой многие природные комплексы и геологические структуры, выявлены нескрытые эрозией интрузивные близповерхностные тела на Очуногдинском участке. Высказано предположение о связи золото-медно-порфирового оруденения с предполагаемыми по геофизическим данным (крупномасштабная гравиметрическая съёмка масштаба 1:50000) интрузивными образованиями, установлены некоторые корреляционные связи между оруденением и определёнными геофизическими характеристиками. Вместе с тем, указанные работы носили прежде всего съёмочный характер, объёмы горных и буровых работ были крайне ограничены, поиски рудных объектов отодвигались на второй план. Главным положительным моментом является то, что авторы [117] увязали все материалы предшественников со своими данными, в результате чего создана основа для целенаправленных поисков на Култуминской площади месторождений золото-медно-порфирового типа.

В отношении гидрогеологической и инженерно-геологической изученности отметим следующее. Основные сведения о гидрогеологии района охарактеризованы в справочнике условий водоснабжения сельскохозяйственных угодий

Читинской области [88]. Инженерно-геологические условия района отражены в работе В.П. Портновой [32], где приведена схема инженерно-геологического районирования, согласно которой исследованная территория характеризуется развитием двух типов регионов. Дана полная характеристика инженерно-геологических свойств горных пород, указаны закономерности развития многолетней мерзлоты и возможности гражданского и промышленного строительства в зависимости от перечисленных факторов.

В 2005-06 гг. ООО «ГРК «Быстринское», а с 2007-13 гг. ООО «Восток-геология» выполнили, при непосредственном участии автора, большой комплекс поисковых и оценочных работ на Култуминской площади. К сожалению, в результате этих работ рудных объектов порфирового типа, с которыми предшественниками связывались основные перспективы характеризуемой территории, не выявлено. В тоже время было переоценено среднее по запасам меди, серебра и железа и крупное по запасам золота Култуминское месторождение скарнового типа [111]. 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.

Кроме запасов, на Култуминском месторождении подсчитаны значительные прогнозные ресурсы по категориям P_1 и P_2 [112; 114]. Результаты экономической оценки возможного освоения недр Очуногдинского и флангов Преображенского и Инженерного участков Култуминского месторождения указывают на целесообразность постановки здесь дальнейших оценочных и разведочных работ с целью перевода прогнозных ресурсов в запасы.

1.4. Геологическое строение района работ

Характеристика площади приводится по материалам В.А. Гунина, В.Д. Огородникова, Э.Р. Ридер, И.М. Адельсона, А.И. Шадрина, Ю.М. Шостака,

М.Н. Охлопковой, В.Д. Сазонова, С.П. Шубкина, А.В. Баранова, А.Х. Шафикова и других исследователей.

В региональном плане рассматриваемая территория расположена в пределах Газимурской зоны (зоны повышенных градиентов поля силы тяжести), входящей в трансконтинентальный Монголо-Охотский складчатый пояс (рис. 1.2.; рис. 1.3.). По формационным особенностям Газимурская зона соответствует серии вложенных друг в друга геосинклинальных прогибов каледонид (в сущности, единому прогибу), осложнённых глубинными разломами и вмещающих гранитоиды различных эпох тектоно-магматической активизации [104; 117]. Сохранившиеся на площади стратифицированные и магматические образования объединяются в венд-раннепалеозойский, позднепалеозойский и мезозойский структурные этажи, соответствующие различным этапам геотектонического развития региона. Ниже приводится краткая геологическая характеристика Култуминской площади, в основе которой лежат результаты съемки масштаба 1:50000 С.П. Шубкина [117].

1.4.1. Стратиграфия

Стратиграфический разрез площади представлен терригенно-карбонатными отложениями верхнего протерозоя, нижнего палеозоя, терригенными образованиями юры, осадочно-вулканогенными постройками верхнее мезозойских отложений и рыхлыми осадками кайнозойского возраста.

Верхний протерозой, венд. Быркинская серия белетуйская свита (Vbl). Эти образования закартированы в выдвинутых тектонических блоках в бассейне р. Култумушки и сложены преимущественно песчано-сланцевыми образованиями с частым переслаиванием зеленовато-серых тёмно-серых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. В целом отложения свиты представлены чередованием терригенно-сланцевых и карбонатных миогеосинклинальных фаций, накопление которых происходило условиях спокойного неглубокого бассейна с неровным рельефом дна и поверхности питания. Мощность отложений до 1960 м.

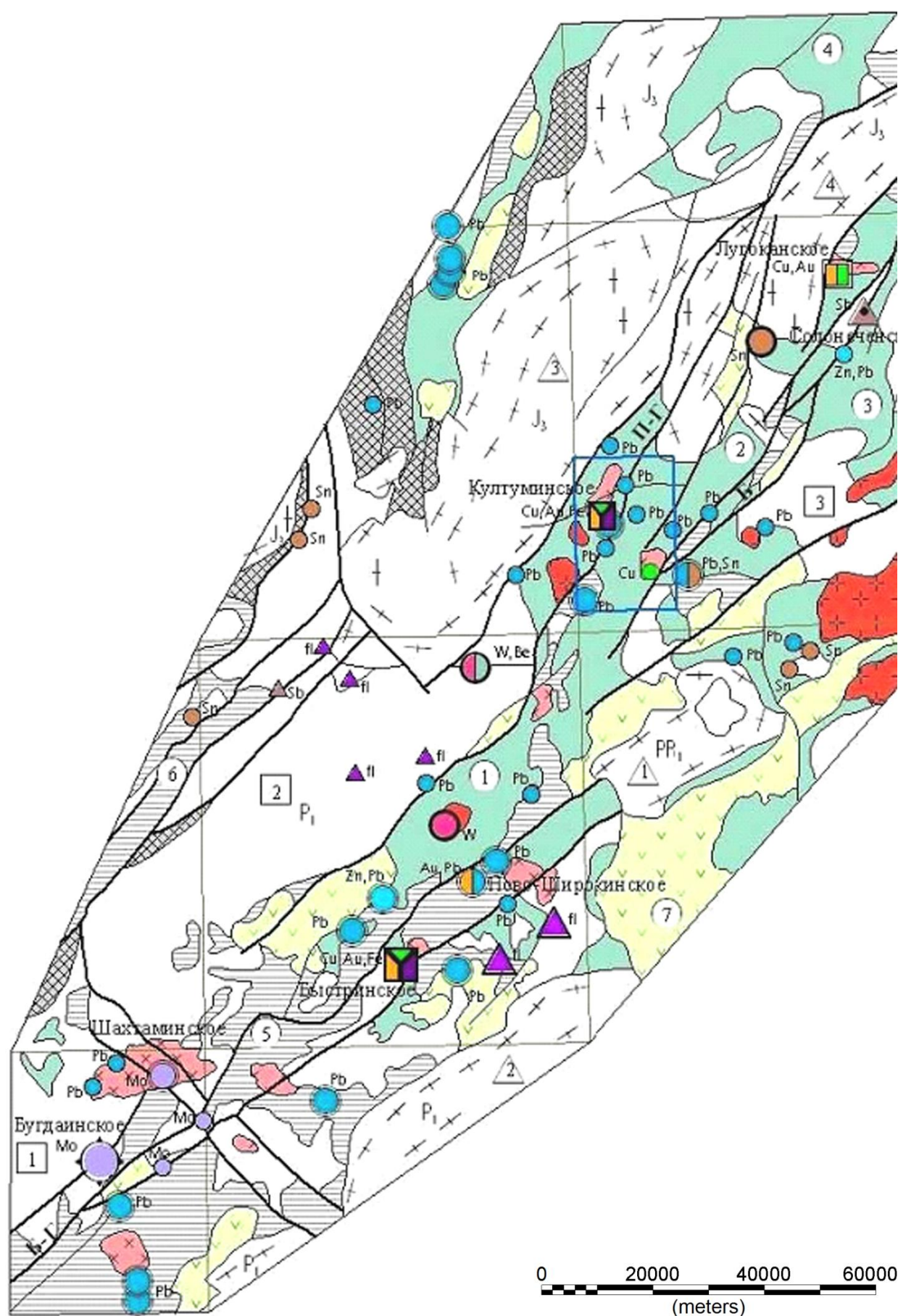
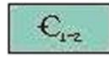


Рис. 1.2. Структурно-формационная схема Газимурской зоны по материалам ООО «Восток-геология», 2008 г.

Условные обозначения

Пликативные структуры

Каледонские



Карбонатно-терригенная формация

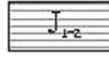
① Газмурский синклиний

③ Приурюмканский синклиний

② Будюмканский синклиний

④ Пригазмурский синклиний

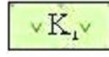
Мезозойские



Флишoidная алевролит-песчаниковая формация

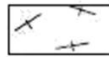
⑤ Борзя-Газимурский синклиний

⑥ Куренгинская грабен-синклиналь



Трахибазальт-риолитовая формация

⑦ Мотогорская грабен-синклиналь



Гранито-нейсовые купола

① Урюмканский раннепротерозойский

② Кутомарский раннепермский

Позднеюрские

③ Междуреченский

④ Лугоканский

Интрузивные массивы



Раннепермские гранит-гранодиоритовые

① Верхнеундинский

② Газимурский

③ Урюмканский



Средне-позднеюрские монцодиорит-гранодиорит-гранитовые



Позднеюрские гранит-лейкогранитовые



Раннепротерозойские метаморфиты комплекса основания



Разломы, в т.ч. Б-Г - Борзя-Газимурский; П-Г - Право-Газимурский; Б - Будюмканский

Полезные ископаемые

Генетический тип	Месторождения		Перспективные рудопроявления
	Крупные	Средние, мелкие	
Скарновый	Cu, Au, Fe	Cu, Au, Fe Cu, Au	
Гидротермальный	Mo	Au, Pb Pb, Sn Sn W W, Be	Pb Cu Sn Mo
Гидротермальный низкотемпературный		Sb fl	Sb fl



Контур Кухтуминской площади

Рис. 1.3. Условные обозначения к структурно-формационной схеме Газимурской зоны по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г.

Кембрийская система. Аргунская серия. (Георгиевская подсерия). Отложения георгиевской подсерии на территории работ пользуются значительным распространением. Георгиевская подсерия включает быстринскую свиту и ерниченскую толщу.

Быстринская свита ($\text{Є}_1\text{bs}$). Терригенно-карбонатные породы быстринской свиты, согласно залегают на отложениях белетуйской свиты, широко развиты на всей территории района работ, слагая крылья Будюмканского синклинория. Породы быстринской свиты картируются в виде полосы меридионального простирания на востоке рудного поля – в ядерной зоне Култума-Ушумунской антиклинали. Эти отложения представлены известняками, доломитами с редкими прослоями мергелистых и кремнистых разновидностей глинистых сланцев и кварцевых песчаников. Преобладают окрашенные в светлые тона доломиты, имеющие массивную, брекчиевидную, неяснополосчатую текстуру и зернистую структуру. Для известняков и известковистых доломитов более типичны тёмно-серые цвета и волнисто-слоистая текстура. Они содержат комплекс фауны, характеризующий аббатский и батомский ярусы нижнего кембрия. Мощность отложений 700 м.

Ерниченская толща ($\text{Є}_{1-2}?\text{er}$). Терригенные осадки ерниченской толщи развиты в южной и западной части площади, откартированы в междуречье падей Покая-Богдаты Газимурская, в бортах р. Газимур, между притоками Курлея и Начин, в верховьях п. Мульдай и других участках. Они слагают западное крыло Култума-Ушумунской антиклинали и различные по размерам ксенолиты среди гранитоидов Култуминского массива. Отложения толщи согласно залегают на породах быстринской свиты. Породы толщи представлены светло-серыми песчаниками аркозовыми и кварцитовидными, алевропесчаниками, тёмно-серыми до чёрных алевролитами тонкополосчатыми, прослоями и линзами серых известняков, гравелитами с пёстроцветными серицит-кремнистыми сланцами, а карбонаты и кварциты играют второстепенную роль. Повсеместно терригенные породы ороговикованны до образования плагиоклаз-кордиерит-биотитовых, кварц-полевошпатовых и биотит-роговообманковых роговиков, а

карбонатные породы скарнированы. Особенно высокая степень контактового метаморфизма отмечается на юге площади по левобережью р. Очуногда. Роговики содержат до 40 % новообразований кордиерита и плагиоклаза, кварца – 20 %, серицита – до 25 %, биотита – 15 %. Мощность отложений 1200 м [117].

Юрская система. Нижний-средний отделы. Ранне-среднеюрские осадочные образования выполняют реликты мезозойского Борзя-Газимурского синклинория и картируются на крайнем ЮЗ площади работ в бассейне р. Покая. С угловым несогласием и длительным перерывом в осадконакоплении на терригенно-карбонатных породах палеозойского возраста с размывом залегают морские отложения нижней и средней юры, распространенные преимущественно в юго-западной части исследуемого района, где они подразделяются на две свиты – государственную (J_1gs) и кавыкученскую (J_2kv). Они представлены фаунистически охарактеризованными морскими алевро-песчаниковыми толщами государственной (J_1gs) и кавыкучинской свит (J_2kv). Общая мощность отложений морской юры оценивается до 700 м.

Государевская свита (J_1gs). Отложения государственной свиты представлены преимущественно тёмными до чёрных массивными алевролитами, аргиллитами и разнообразными сланцами с редкими прослоями полимиктовых песчаников и линзами конгломератов. Мощность отложений 500-600 м.

Кавыкучинская свита (J_2kv). Кавыкученская свита состоит преимущественно из разнообразных песчаников, в меньшем объёме присутствуют алевролиты, аргиллиты, различные сланцы, встречаются гравелиты, конгломераты, а также единичные линзы ракушечников. Мощность отложений 80-100 м.

Меловая система. Нижний отдел. Тургинская свита (K_1tr). Вулканогенно-осадочные образования тургинской свиты (K_1tr) встречаются на небольшой площади только в верховьях р. Курлея, выполняя юго-западную краевую часть Верхнезеренской вулканической постройки. Они представлены туфоконгломератами, базальтами, андезитобазальтами, андезитами, риолитами и их вулканокластитами. Мощность отложений около 250 м. Раннемеловые структурные формы на площади работ выполнены осадочно- вулканогенной континенталь-

ной молассой тургинской свиты (K_{1tr}). Низы свиты сложены гравелитами, аргиллитами, песчаниками с примесью туфового материала, верхи – лавами и туфами андезитов с прослоями туфопесчаников. Фрагменты раннемеловых структур выявлены на крайнем юго-востоке и севере площади.

Кайнозойская группа. Четвертичная система. Вся поверхность исследуемой площади покрыта четвертичными осадками различной мощности. На водораздельных участках сформировались элювиальные щебнисто-глинистые отложения мощностью 0,5-1,0 м; по склонам гор широко развиты делювиальные образования мощностью до 4 м; долины рек Газимур, Мульдай, Яромай, Кутыкан, Курлея, Богдать-Газимурская, Покая сложены аллювиальными, пролювиально-аллювиальными галечниками, песчаниками, глинами и суглинками общей мощностью до 25 м. Плейстоцен-четвертичные отложения слагают поймы рек, надпойменные террасы, днища распадков и склоны горных сооружений. Аллювием выполнены террасовые, пойменные и русловые части падей Газимур, Бошагоча, Мульдай, Богдать, Яромай и др., где мощность отложений достигает 14 м. Аллювиально-пролювиальные отложения мощностью 5-6 м выполняют днища мелких падей. Широко развиты делювиальные мелкоглыбовые отложения склонов мощностью в среднем 2 м. Русловый и пойменный аллювий рек Курлея, Бошагоча, Яромай, Очуногда, Мульдай, а также участки долины р. Газимур в устье Курлеи и Мульдая золотоносны.

Ниже (рис. 1.4.; рис. 1.5.) приводится геологическая схема Култуминской площади, разрез и условные обозначения. Схемы оформлены с использованием материалов С.П. Шубкина и ООО «Востокгеология» [112; 114; 117].

1.4.2. Магматизм

Поверхность изучаемой территории на одну треть представлена интрузивными образованиями преимущественного гранит-диоритового состава, слагающими четыре интрузивных комплекса. Магматическая деятельность на данной территории началась внедрением гранитоидов ундинского комплекса (P_{1u}) и закончилась в раннемеловое время дайковой серией пёстрого состава.

Рис. 1.4. Геологическая схема Култуминской площади. Составлена по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г., (условные обозначения (рис. 1.5.)).

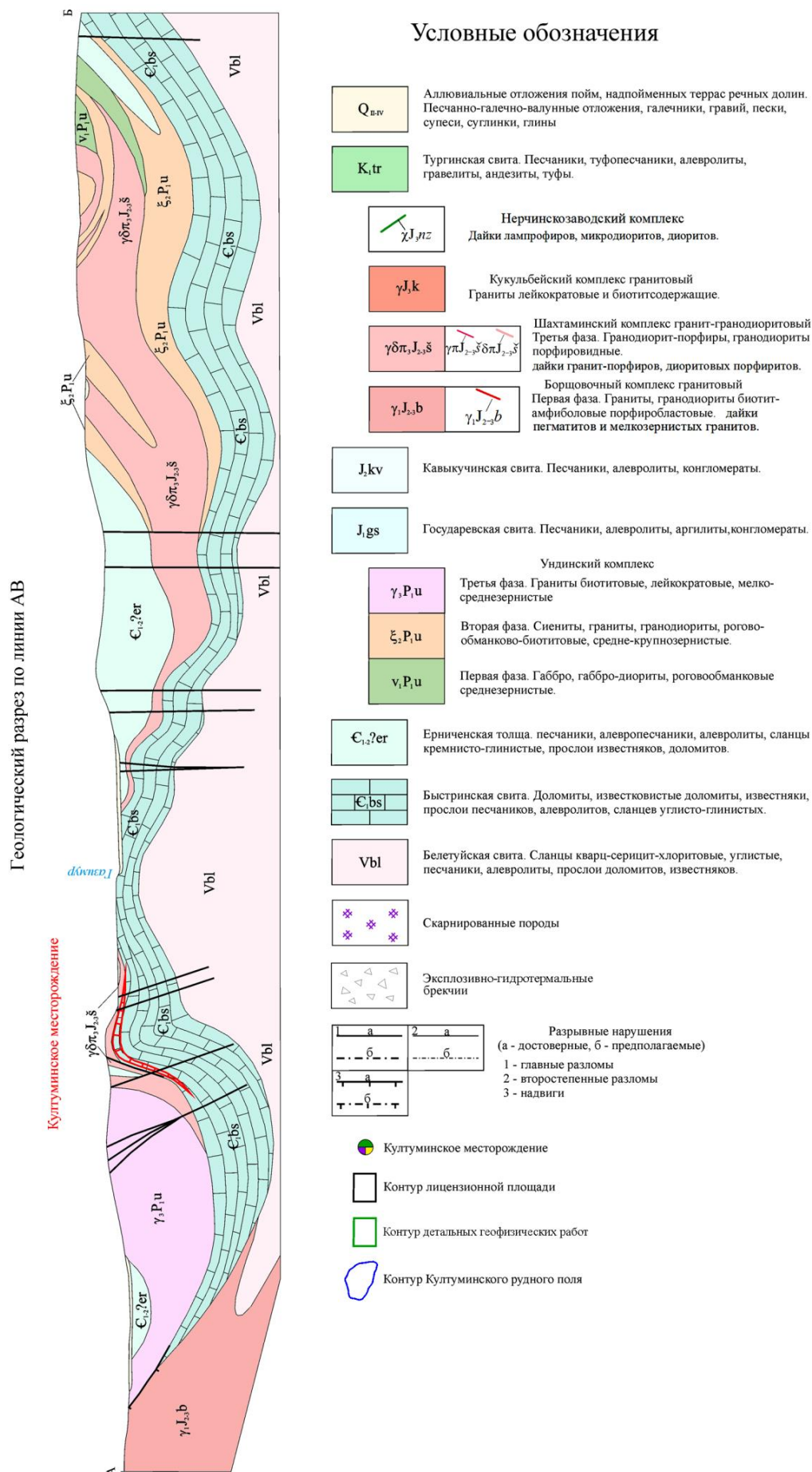


Рис. 1.5. Геологический разрез по линии АВ и условные обозначения к геологической схеме Култуминской площади. Составлен по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г.

Наибольшую тектоно-магматическую активность район приобрёл в мезозойское время, когда произошли интенсивные инверсионные движения, сопровождавшиеся ремобилизационными процессами и формированием гранитов борщёвочного комплекса (J_{2-3b}). Восточнее, на периферии Борщёвочной структуры, произошло внедрение третьей фазы средне-позднеюрской интрузии шахтаминского комплекса ($J_{2-3\delta}$), а несколько позднее, в позднеюрское время – гранитов кукульбейского комплекса. В завершающий этап мезозойской активизации в раннем мелу внедрялись дайки и небольшие тела абагайтуйского трахиандезит-риолитового субвулканического комплекса (J_3k).

Позднепалеозойский структурный этаж представлен гранитоидами ундинского интрузивного комплекса (γP_{1u}). На площади работ они образуют выступ обширного Урюмканского батолита. Ундинский комплекс имеет трёхфазное строение: 1 фаза – габбро, габбро-диориты; 2 фаза – гранодиориты, граносиениты средне-крупнозернистые; 3 фаза – граниты биотитовые, лейкократовые мелкозернистые.

По последним результатам геологоразведочных работ ООО «Востокгеология», ранее выделенный Култуминский выход (49 кв. км), откартированный в левобережной части р. Газимур, сложен около 30 кв. км гранитоидами ундинского (γP_{1u}) и около 19 кв. км шахтаминского ($J_{2-3\delta}$) комплексов. Форма интрузий – силлообразная (рис. 1.4., рис. 1.5.).

С породами комплекса не связано эндогенной минерализации, за исключением незначительных скоплений тантало-ниобатов.

Геологические формации мезозойского структурного этажа подразделяются на ранне-среднеюрские, средне-позднеюрские и раннемеловые.

Средне-позднеюрские магматические образования относятся к формациям орогенной тектоно-магматической активизации. На площади работ они представлены массивами и дайковыми поясами гранодиорит-порфиров шахтаминского, порфиробластовыми ультраметаморфическими гранитами борщёвочного и лейкогранитами кукульбейского комплексов.

Гранитоиды борщовочного комплекса (γJ_{2-3b}) картируются в бассейне рр. Яромай-Бурукагуча. Они слагают ЮВ фланг Междуреченского гранито-гнейсового купола (вала), представляющего собой ремобилизованный в средне-позднеюрское время раннепротерозойский сиалический фундамент. В геохимическом плане гранитам этого комплекса свойственна слабая специализация на редкие элементы.

Гранодиорит-порфиры шахтаминского комплекса ($\gamma \delta \pi_3 J_{2-3\check{s}}$) слагают Култуминскую и Бошагочинскую трещинные интрузии, а также небольшие массивы и дайковые пояса в низовьях рек Курлея – Мульдай и Покая. Это породы субвулканического и гипабиссального облика с ярко выраженной порфировой текстурой и характерными микроструктурами метасоматического замещения реликтов вмещающих пород. В центральных частях тел раскристаллизация пород доходит до полнокристаллических порфировидных текстур с типичными магматическими микроструктурами.

Наибольший практический интерес с точки зрения металлогении представляет гранодиорит-порфировая интрузия шахтаминского комплекса, с которой установлена генетическая связь промышленного оруденения золото-медно-порфирового типа. Наиболее крупным интрузивом этого комплекса являются Култуминский выход, откартированный в левобережной части р. Газимур на площади 19 кв. км. В приконтактных частях Култуминской интрузии широко проявлены процессы гранитизации, ороговикования и скарнирования кембрийских терригенно-карбонатных толщ, а также гидротермальные процессы, сопровождающиеся формированием скоплений золото-медно-железных руд.

Бошагочинский массив по многим характеристикам существенно отличается от Култуминского массива, но геохимическая специализация и металлогеническое значение их довольно идентичны. Интрузивный массив занимает площадь 8 кв. км на водораздельном пространстве падей Бошагоча и Курлея. Наряду с осадками алтачинской свиты вмещающими породами являются гранитоиды первой и второй фаз ундинского комплекса. Породы комплекса специализированы на медь, золото, серебро и молибден. Гранодиорит-порфиры

Бошагочинской интрузии характеризуются магматическими микроструктурами основной массы и отсутствием экзоконтактовых изменений во вмещающих гранитоидах ундинского комплекса. В эндоконтактах гранодиорит-порфиров наблюдаются микрозернистые зоны закалки мощностью до 0,5 м.

Завершающим этапом становления шахтаминского комплекса является внедрение мощной дайковой серии, которой сформировано несколько поясов в пределах Курлеинской очаговой структуры и её ближайшем окружении. По составу среди даек выделяются: диоритовые порфириты, лампрофиры, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры. Мощность их редко превышает 10 м и очень редко встречаются магматические образования до 100 м (верховья п. Курлея).

Определённый интерес представляет интрузия кукульбейского комплекса, перспективная на редкометальное оруденение [117]. Лейкократовые граниты кукульбейского комплекса (γJ_3k) слагают Сивочиканский массив возле западной границы площади. Массив сильно эродирован и говорить о его металлогенической специализации на исследуемой площади не представляется возможным.

Позднеюрский этап развития территории завершается внедрением даек лампрофиров и долеритов нерчинско-заводского комплекса (χJ_3nz). Эти образования секут все породы и не несут рудной минерализации. Породы комплекса представлены серыми с розоватым оттенком средне-крупнозернистыми порфировидными биотитовыми и лейкократовыми гранитами. Характерной особенностью гранитов являются крупные, до 3 см по удлинению включения розового калишпата и округлые выделения дымчатого кварца. Среди жильных пород комплекса отмечаются немногочисленные и маломощные дайки аплитов и пегматоидных гранитов. Из аксессуарных минералов в гранитах присутствуют в весовых количествах магнетит, ильменит, титанит, апатит, циркон и в знаковых – ураноторит, уранинит, монацит, гранат, рутил, ортит.

Взаимоотношения кукульбейских гранитов с шахтаминскими гранодиорит-порфирами Култуминского массива изучены на уч. Очуногда. На разрезах видно, как дайкообразные сателлиты лейкогранитов прорывают гранодиорит-

порфиры Култуминского массива. Подобные факты, только в канавах, наблюдались при производстве ГДП-50 [117]. Эти обстоятельства указывают на более молодой возраст лейкогранитов Сивочиканского штока, чем гранодиорит-порфировой интрузии Култуминского массива.

Дайки биотит-роговообманковых лампрофиров и долеритов, секущие породы Култуминского массива, условно отнесены к нерчинскозаводскому комплексу позднеюрского возраста ($\chi, \beta J_{3nz}$). Выполненные этими породами дайки имеют мощность от долей метра до 20 м, падение чаще пологое 20-30°, чем крутое и различное простирание без какого-либо преобладающего направления. В канавах и скважинах нередко фиксировались лампрофиры и долериты с зонами закалки, отчётливо прорывающие гранитоиды шахтаминского комплекса. Чаще всего эти взаимоотношения наблюдались на Очуногдинском рудопроявлении. Как правило, дайки затронуты процессами пропилитизации и, реже, аргиллизации. Рудной минерализации с образованиями нерчинско-заводского комплекса не установлено.

1.4.3. Тектоника

Рассматриваемая территория находится на северо-востоке Аргунского срединного массива или Монголо-Забайкальской подвижной системы, входящей в трансконтинентальный Монголо-Охотский складчатый пояс. Она имеет сложное тектоническое строение и сформирована структурными элементами различных возрастов и типов, возникших в процессе взаимодействия Сибирской и Северокитайской литосферных плит [65]. Значительную часть изучаемого района занимает Будюмканский синклиний. Он имеет генеральное северо-восточное простирание. Из структур второго порядка наиболее сохранились Кутыканская и Алгасуйская брахисинклинали, разделённые Култума-Ушумунской антиклиналью. Кроме того, в разрозненных тектонических блоках картируются фрагменты мелких антиклинальных и синклинальных складок, вплоть до пloyчатости, которая проявилась в карбонатных отложениях быстринской свиты нижнего кембрия.

В строении исследуемого района выделяется четыре структурных этажа: три из них миогеосинклинальных – позднерифейско-раннепалеозойский, средне-палеозойский, мезозойский и один платформенный – позднемезозойский [117].

Главной структурой позднерифейско-раннепалеозойского этапа является Будюмканский синклиний, сложенный терригенно-карбонатными толщами белетуйской свиты и аргунской серии.

Будюмканский синклиний сложен терригенно-карбонатными толщами белетуйской (Vbl), быстринской ($\text{Є}_{1\text{bs}}$) свитами и ерниченской ($\text{Є}_{1-2\text{er}}$) толщей. Это сложноскладчатое сооружение, состоящее из брахиформных и линейных складок 2-го и более высоких порядков. В ядрах антиклиналей обнажаются песчано-сланцевые отложения белетуйской свиты (небольшие выходы на ЮЗ площади) и доломиты, известняки быстринской свиты (вдоль р. Газимур). Алевро-песчаниковые толщи ерниченской свиты выполняют брахисинклинали и крылья антиклинальных складок. Взаимоотношения свит согласные, мощности их изменяются от сотен метров до 1 км. Породы свит ороговикованны, скарнированы и вмещают проявления полиметаллической и медно-магнетитовой минерализации.

Средне-позднепалеозойские структуры представлены серией относительно небольших массивов гранитоидов ундинского комплекса, образующих северо-западный фланг Урюмканского батолита. Последний формировался в процессе позднепалеозойского орогенеза вдоль активной континентальной окраины.

Мезозойские структуры по формационным особенностям и времени возникновения подразделяются на ранне-среднеюрские миогеосинклинальные и средне-позднеюрские орогенные. Первые из них входят в систему Газимурского прогиба и сложены морскими терригенными толщами государственной и кавычужинской свит. Они относятся к формации континентального склона и шельфа и образованы в процессе последнего развития морского бассейна.

Средне-позднеюрские структуры относятся к формациям континентального рифтогенеза и магматизма. В пределах описываемого района они представлены многочисленными штоками, трещинными интрузиями и дайковыми поясами магматитов ундинского, борщёвочного, шахтаминского и кукульбейского комплексов. В совокупности они образуют Газимурскую мобильную зону [Менакер, 1987], которая входит в систему трансконтинентального Монголо-Охотского шва и относится к разряду долгоживущих линеаментов. Со средне-позднеюрским контрастным магматизмом в Приаргунье и на исследованной территории связано формирование большинства известных здесь месторождений. В частности, с интрузиями шахтаминского комплекса установлена генетическая связь проявлений золото-медно-скарновой формации.

Позднемезозойские структурные формы сформированы осадочно-вулканогенной континентальной молассой тургинской серии и дайками абагайтуйского комплекса. Ими сложена Верхнезеренская палеокальдера, которая в пределах района работ заходит только юго-западной окраиной.

Главными блокоразделяющими разрывными структурами являются Лео- и Правогазимурский, Булугья-Береинский, Будюмканский и Урюмканский разломы. Кроме крутопадающих глубинных разломов широко развиты надвиговые структуры с падением смесителя в юго-восточном направлении, образованные при перемещении Северокитайской плиты с юга на север. Наиболее крупный – Яромайский надвиг [117].

Главными структурными элементами площади являются системы глубинных Право-Лео-Газимурских и Будюмканского разломов СВ-субмеридионального простирания. Разломы определяют внутреннее строение синклинория, ограничивая соответственно с СЗ и ЮВ Кутыканскую брахисинклиналь, занимающую центральную часть площади. Зона Право-Газимурского разлома контролирует пояса позднемезозойских даек. Другой крупный СВ разлом – Яромайский надвиг. По нему на гранитоиды борщовочного комплекса надвинуты терригенно-карбонатные отложения кембрия. Важной магмоконтролирующей структурой СЗ направления является зона глубинного Богдаты-

Бошагочинского разлома. Она контролирует размещение интрузий шахтаминского комплекса в складчатых формах Будюмканского синклинория: в пределах Култума-Ушумунской антиклинали в узле пересечения с Лево-Газимурским разломом – Култуминскую интрузию, а в юго-восточном крыле переработанной ундинскими гранитоидами Кутыканской брахисинклинали – Бошагочинский массив.

Из основных плекативных структур 2-го порядка на площади работ реставрируются Кутыканская брахисинклиналь и обрамляющие её с северо-запада и юго-востока Култума-Ушумунская и Олентой-Зеренская антиклинали. Кутыканская брахисинклиналь занимает центральную, большую часть площади работ. Выполнена алевро-песчаниковыми толщами ерниченской толщи. Култума-Ушумунская антиклиналь, расположенная на левобережье р. Газимур, маркируется выходами терригенно-карбонатных пород белетуйской и быстринской свит. В ядерной части её, интенсивно нарушенной тектоникой, внедрились Култуминская рудоносная интрузия и Сивочиканский массив средне-позднеюрских гранитоидов. По данным ООО «Востокгеология» [114], Култума-Ушумунская антиклиналь состоит из двух субпараллельных ветвей. Эти ветви разделяются синклиналью, к которой приурочена основная часть Култуминского массива, что подтверждается интерпретацией геофизических данных.

Фрагменты Олентой-Зеренской антиклинали, выраженные выходами быстринских известняков, картируются к Юго-Востоку от Будюмканского разлома.

Структурное положение Култуминского рудного поля определяется пересечением Лево-Газимурской ветви глубинных разломов Газимурской мобильной зоны с глубинным Богдаты-Бошагочинским разломом СЗ простирания и серией нарушений меридионального направления (рис. 1.4; рис. 1.5.). В узле пересечения этих разломов в средне-позднеюрское время возник рудоносный Култуминский массив, отличающийся высокой напряжённостью тектонической обстановки и, в связи с этим, повышенной проницаемостью для гидротермальных растворов.

Нарушения СВ ориентировки (фрагменты Лево-Газимурского разлома) и сопряжённые с ними меридиональные структуры определяли фронт раннего железо-магнезиального метасоматоза, ответственного за проявление на Култуминском месторождении и Очуногдинского рудопроявления магнетитовых скарнов и биотит-кордиеритовых роговиков во вмещающей массив терригенно-карбонатной толще кембрия. В массиве к узлу пересечения этих нарушений в верховьях р. Култумушка приурочено тело эксплозивно-гидротермальных брекчий гранодиорит-порфиров с незначительной молибденитовой минерализацией.

Разломы СЗ направления проявлены в виде зон дробления и милонитизации мощностью от 10 м до 1 м и менее. Падение зон на юго-запад под углами 50-60°. Подобные нарушения в пределах рудного поля сопровождаются широкими ореолами березитизации (особенно на юго-востоке Култуминского месторождения).

На рудном поле развиты тектонические нарушения широтного направления – в северном борту р. Култумушка. В канавах они выражены обширными зонами интенсивной трещиноватости, кливажа и отдельными тектоническими швами с глиной трения. Падение трещин и швов крутое – 70-80° на юг. В геофизических полях эти дислокации выражены отчётливым нарушением корреляции элементов электрического и особенно магнитного полей. В геологическом отношении широтные разломы представляют систему поздних сбросо-сдвигов, ступенчато деформировавших как массив, так и уже скарнированные рудоносные терригенно-карбонатные породы под гранодиорит-порфирами.

Кроме перечисленных основных систем разломов, на площади рудного поля исключительно широко проявлены локальные тектонические нарушения. Они осложняют контакты массива и его апофиз, а также пород различной компетентности, типа доломитов и песчаников. Подобные нарушения фиксируются в канавах и керне скважин зонками милонитизации или дробления мощностью от 10 см до 1 м. Они предопределяли проницаемость пород для гидротермальных растворов и последующего рудоотложения.

1.5. Геохимическая характеристика

На Култуминской площади проведена литогеохимическая съемка масштаба 1:50000, по сети 500x100 м, а на «Водораздельном» участке (восточный фланг участка Бошагочинского) – масштаба 1:10000, по сети 100x20 м [117]. Также ООО «Востокгеология» в период 2007-2012 гг. проведена литогеохимическая съемка – масштаба 1:10000, по сети 100x20 м на Култуминском месторождении и Очуногдинском рудопроявлении, на флангах Култуминского рудного поля съемка выполнена по сети 200x40 [112; 114].

В процессе съёмочных работ выявлены многочисленные комплексные литохимические аномалии. В пределах Култуминской площади наиболее информативные аномалии изоконцентрат представлены Au, Cu, Ag, Mo (они приведены на рис. 1.6., 1.7., 1.8, 1.9.) [112; 114; 117]. Анализ литохимического поля проектируемого района работ показывает, что известные здесь рудные узлы и участки характеризуются специализацией на определённый комплекс металлов.

Наиболее крупным и важным, в промышленном отношении, структурно-минерагеническим объектом среди них является Курлеинская рудоконцентрирующая очаговая морфо-структура центрального типа (МСЦТ), специализированная на золото-медную минерализацию. В её литохимическом поле выделяется система высококонтрастных золото-медных (со спутниками) аномалий, связанных с выходами гранитоидов шахтаминского комплекса или их надинтрузивными ореолами [117].

Култуминский массив гранодиорит-порфиров сопровождается комплексным золото-медным ореолом, содержащим меди от 0,01 до 0,3% и концентрацией золота до 1 г/т. Култуминское месторождение и Очуногдинское рудопроявление выделяются единым комплексным геохимическим ореолом золота, меди, мышьяка, серебра, цинка и свинца (рис. 1.6., 1.7., 1.8, 1.9.). Контрастными золото-медными геохимическими ореолами обрамлены Бошагочинская, Усть-Мульдайсая, Ямная и др. более мелкие магмообразования.

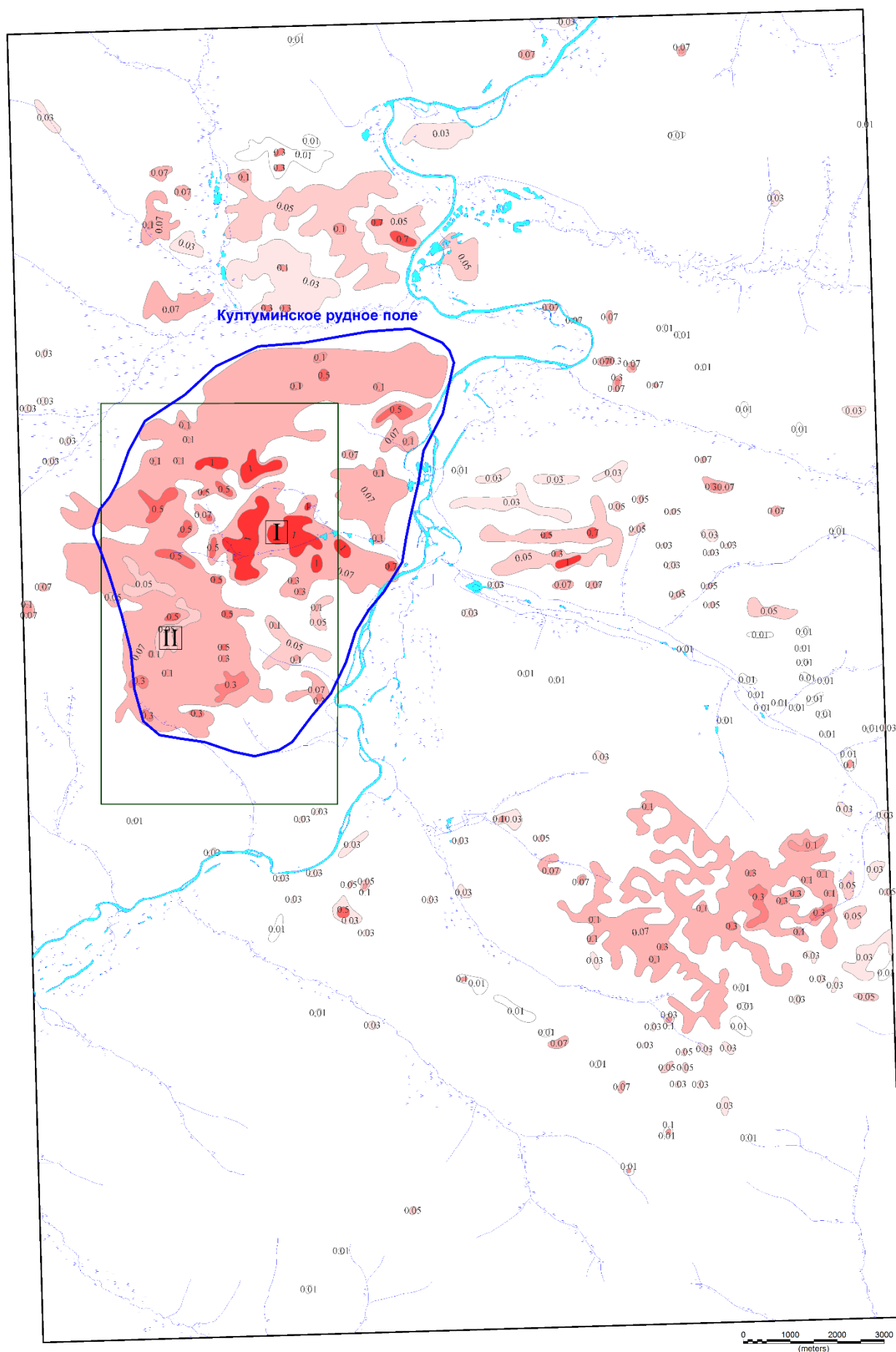


Рис. 1.6. Схема изоконцентрат Au (г/т) на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ПГО «Читагеология» и ООО «Востокгеология», 2013 г.

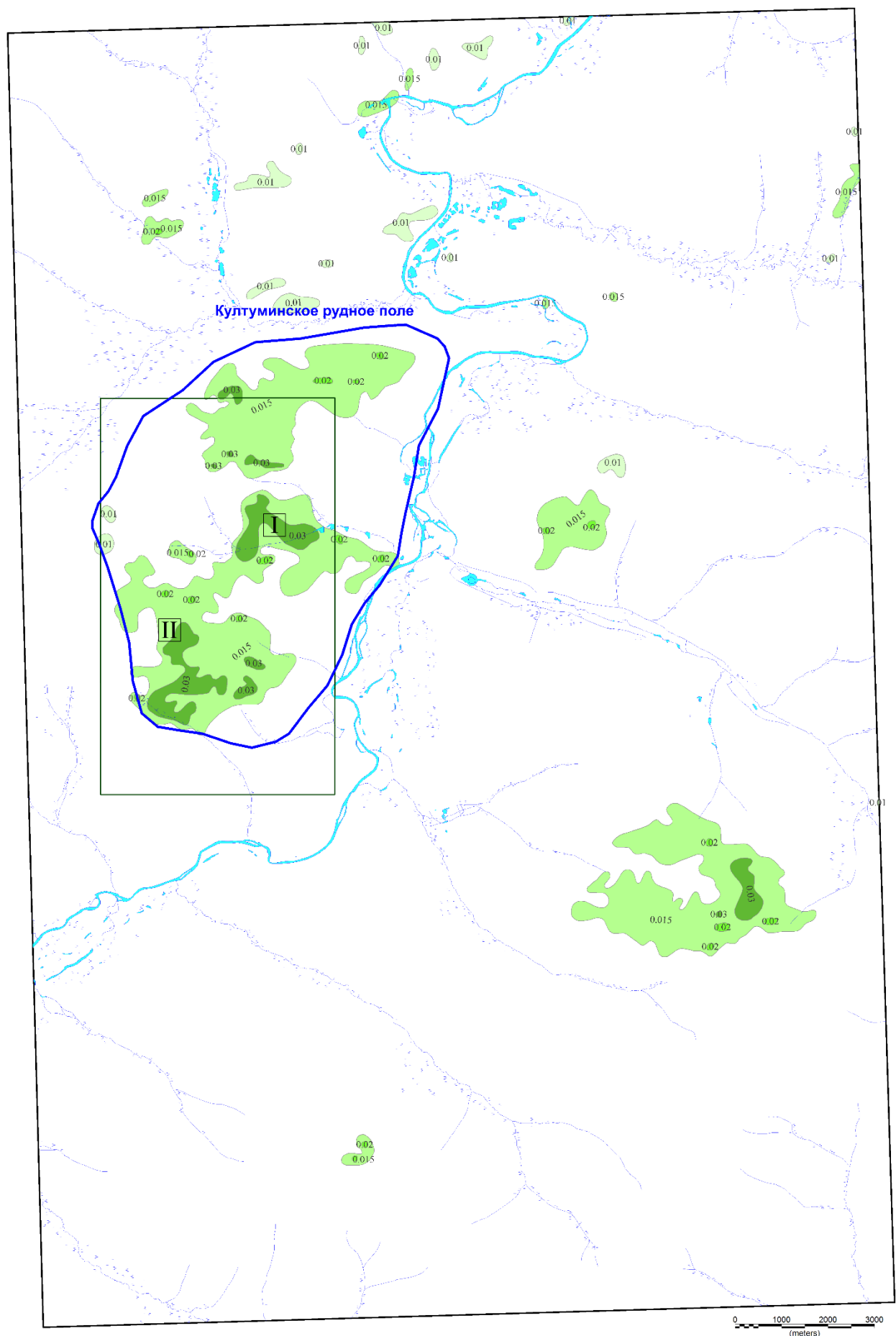


Рис. 1.7. Схема изоконцентрат Cu (%) на Култуминской площади Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ПГО «Читагеология» и ООО «Востокгеология», 2013 г.

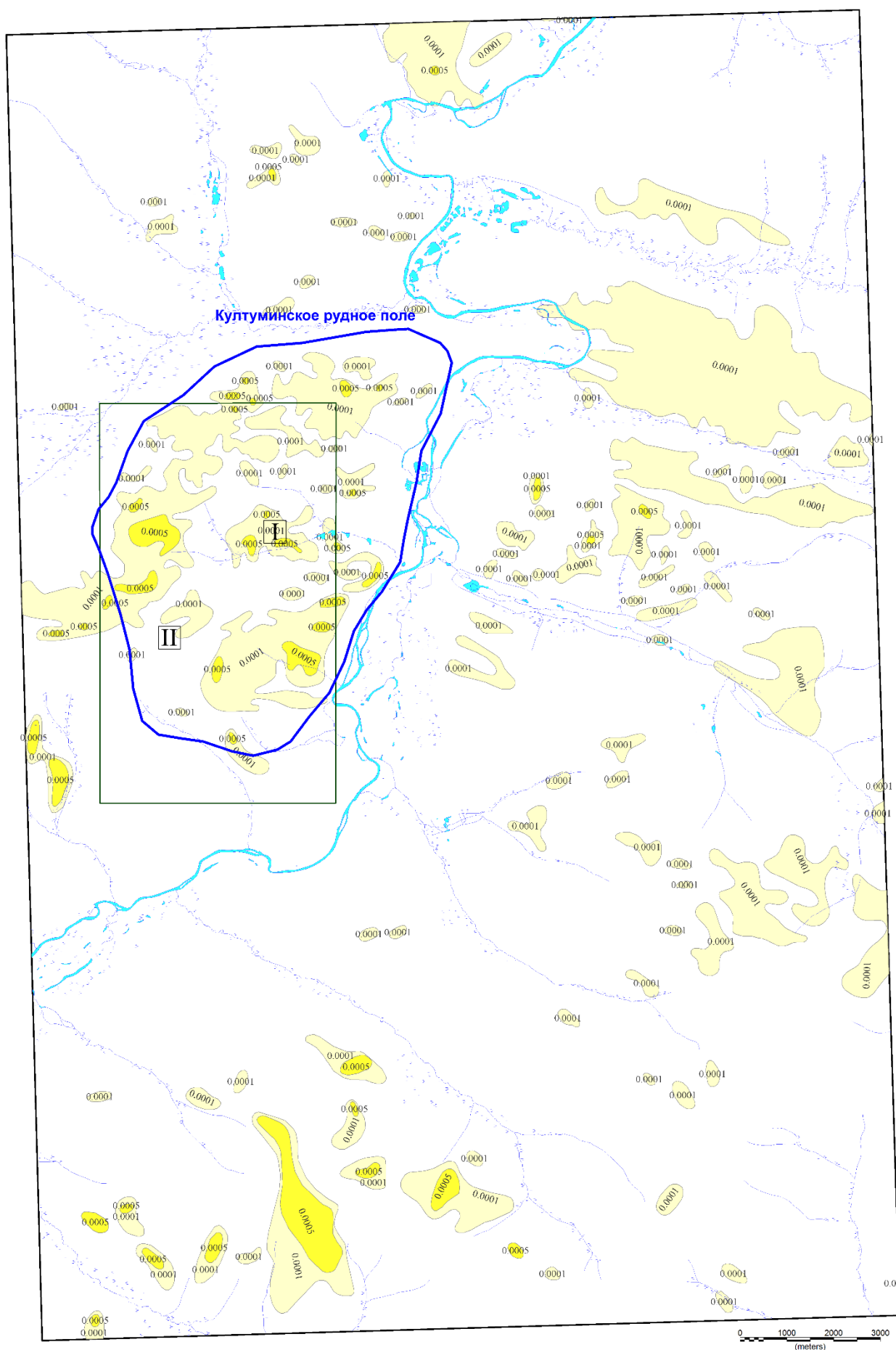


Рис. 1.8. Схема изоконцентрат Ag (%) на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ПГО «Читагеология» и ООО «Востокгеология», 2013 г.

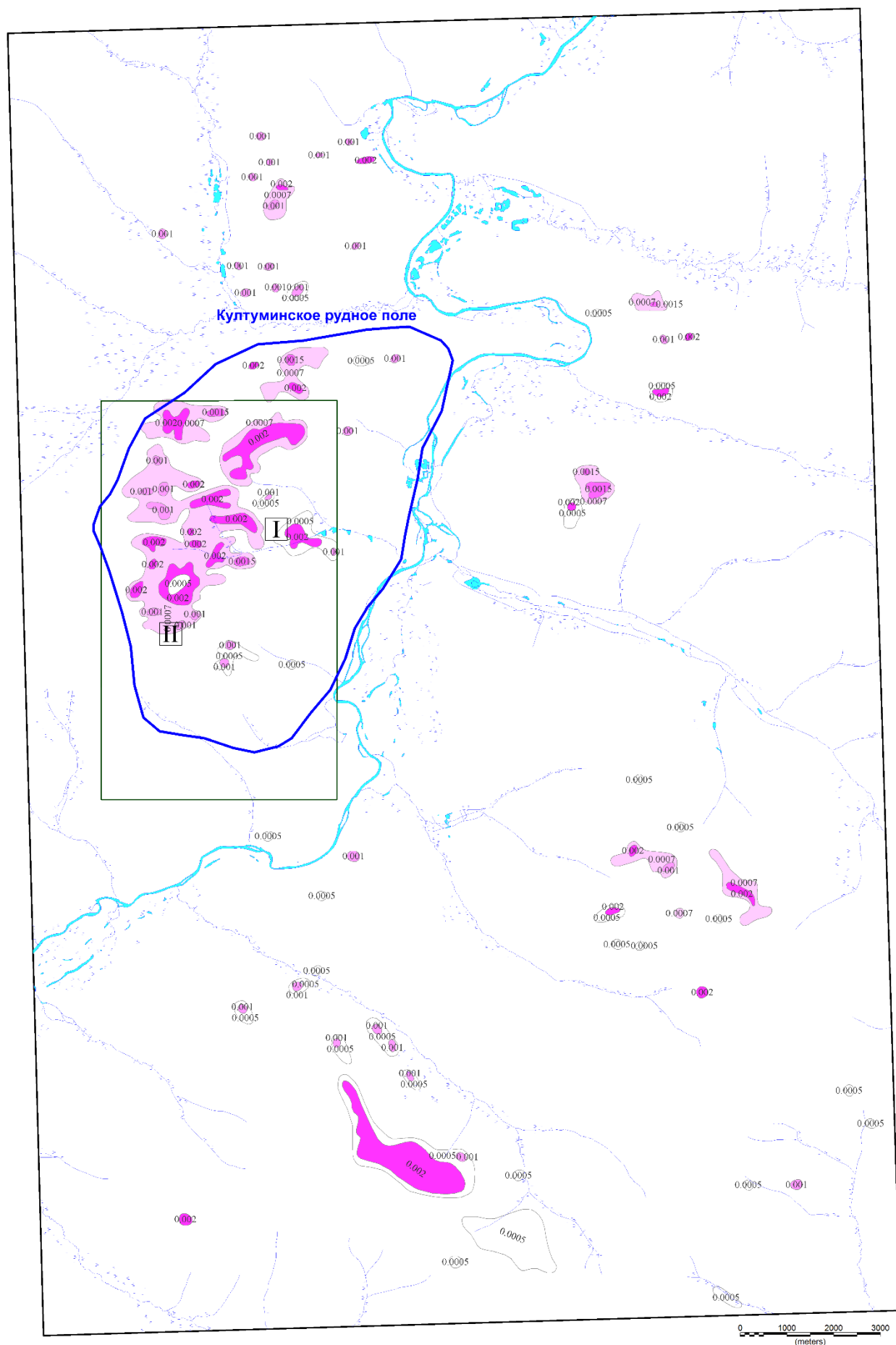


Рис. 1.9. Схема изоконцентрат Мо (%) на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ПГО «Читагеология» и ООО «Востокгеология», 2013 г.

В пределах самих ореолов выделяются локальные участки с повышенным и концентрациями металлов, соответствующие рудным зонам. Установленная для интрузий шахтаминского комплекса вторичная рудная латеральная зональность находит определённое выражение и в литохимическом поле. По данным опробования к центральной части массива приурочены ореолы молибдена интенсивностью 0,0005-0,007 %. С переходом к эндоконтактовой рудной оболочке содержание молибдена снижается, постепенно возрастает концентрация меди, появляется золото и серебро. Далее вглубь экзоконтактовой зоны, в ореолах к меди и золоту присоединяются свинец и цинк. На экзоконтактовой периферии рудного тела содержание меди снижается до 0,01%. Здесь развиты золото-серебряно-полиметаллические ореолы.

По данным литохимических поисков масштаба 1:10000 в контуре крупноплощадного Бошагочинского ореола одна из таких локальных аномалий имеет протяжённость 3,5-4,0 км, ширину до 800 м, содержание меди 0,01-0,5%, золота 0,01-0,5 г/т и приурочена к мощной зоне окварцованных и минерализованных тектонитов. На востоке и северо-востоке Бошагочинского массива отмеченная зональность завершается «чистым» аномальным золотом.

Проведённое на площади Курлеинской МСЦТ литохимическое опробование позволило обнаружить ряд участков, перспективных на золото-медное (со спутниками) оруденение, на которых были рекомендованы поисковые и поисково-оценочные работы [117]. По литохимическим ореолам надёжно выделяются интрузии шахтаминского комплекса, специализированные на золото-медную (молибденовую) минерализацию.

С интрузиями кукульбейского комплекса парагенетически связана группа комплексных аномалий вольфрама, олова, молибдена и бериллия. Наиболее крупные из них располагаются вдоль юго-западной части Будюмканского глубинного разлома. Площади выхода описанных комплексных аномалий рекомендованы для поисковых работ второй очереди.

Системой последовательных полиметаллических ореолов (с серебром) сформирована Култуминская литохимическая зона. Она приурочена к протя-

жённому выходу карбонатов быстринской свиты, специализированных на стратиформное серебро-свинцовое оруденение. В эпицентрах частных ореолов располагаются все известные полиметаллические рудопроявления Култуминской группы. По данным В.Г. Васильева и Култуминской партии [117], описываемая структурно-металлогеническая зона перспективна на выявление нескольких среднемасштабных полиметаллических объектов и рекомендована под поисковые работы.

Подводя итоги, Култуминское рудное поле обрамляется вторичным геохимических ореолами рассеяния золота (0,01-1 г/т), меди (0,01-0,5 %), мышьяка (0,01-0,5 %), серебра (0,0001-0,001 %) цинка (0,02-0,2%) и свинца (0,01-0,1 %). Контур Култуминского рудного поля выделен автором на основе единого (Au-Cu) геохимического ореола (рис. 1.6, рис. 1.7.).

1.6. Геофизическая характеристика

Исследуемая территория характеризуется широким разнообразием и плотностью геофизических работ. Большая их часть проведена в 50-60 годы. В этот период вся площадь работ заснята аэромагнитной съёмкой масштаба 1:25000 [Дорошков, 1957; Ищукова, 1962], частично АГСМ-съёмкой масштаба 1:25000 Усманов [111], а также более крупномасштабными работами на многочисленных детальном участках [Евсеев, 1955; Ванюков, 1958; Ридер, 1960; Шостак, 1969].

В результате этих работ составлены карты магнитного и гамма-полей, содержания калия, тория, урана. Многие аэроаномалии были детализированы при наземных магнито-, электроразведочных и литохимических работах, в результате чего вскрыты и оконтурены рудные тела. Култуминская магнитная аномалия отнесена к одной из наиболее интересных по размерам и интенсивности поля среди выявленных аэромагнитной съёмкой в Приаргунье [95].

В последующие годы на площади проведён комплекс геофизических исследований с современной высокоточной аппаратурой, в который входила гра-

виметрическая съёмка ГДП масштаба 1:200000 и аэромагнитная и АГСМ-съёмка масштаба 1:25000. Култуминской партией была проведена крупномасштабная гравиметрическая съёмка масштаба 1:50000. [117].

В 2007 г. Норильским филиалом ФГУП ВСЕГЕИ [93; 94] была выполнена комплексная аэрогеофизическая съёмка масштаба 1:25000 в пределах Култуминской площади на самолете АН-3 с аэрогеофизическим комплексом КАС-1, включающим магнитометр, гамма-спектрометр ГСА-2000, электроразведочный модуль ДИП-А, спутниковый бортовой навигационный комплекс «Javad». Съёмка проводилась на высоте 115 м по системе прямолинейных маршрутов с детальным огибанием рельефа. Средняя скорость на съёмочных маршрутах составила 186 км/час.

В период с 2007-2012 г., в пределах Култуминской площади, ООО «Востокгеология» выполнен большой объем площадных геофизических работ. Исследования включали магниторазведочные работы с измерением вертикального градиента поля, гравиметрические и электроразведка в модификации СГ-ВП. В 2012 году на месторождении проводились работы современной методикой электротомографии с целью детального оконтуривания и заверки выделенных ранее аномалий [112; 114].

Комплекс проведённых поисковых работ позволил достаточно планомерно изучить всю площадь рудного поля. В результате интерпретации геофизических и геохимических материалов были расширены контуры известных по предшествующим работам рудных объектов и выделены новые участки для проведения заверочных буровых работ.

Помимо наземных работ, проводились геофизические исследования в скважинах (ГИС) на Култуминской площади, выполненные каротажным отрядом ЦФ «Горно-геологической экспедиции», ФГУГП «Урангеологоразведка» и Русской Буровой Компанией. С 2010 г. комплекс ГИС выполнены силами ООО «Востокгеология».

Инклинометрия и ГК проведены во всех скважинах, охват этими методами составляет более 98 % объемов бурения. Методами КС, КМВ, ПС и ВП

охвачено от 60 до 80 %, в среднем 68 %. Причины неполного охвата каротажем связаны, в основном, с осложнениями по тектоническим зонам и обрушениями стенок скважин после поднятия буровой колонны и промывкой скважин перед проведением каротажа.

Далее по тексту (на рисунках 1.10.-1.16.) приведены графические материалы по результатам выполненных геофизических исследований ООО «Восток-геология» (в том числе при участии автора) и Норильского филиала ФГУП ВСЕГЕИ в период геологоразведочных работ 2007-2013 гг.

В геофизических полях объекты Култуминского рудного поля выделяются контрастными аномалиями. Култуминское месторождение, где оруденение сосредоточено преимущественно в скарнах, выделяется повышенными значениями аномального гравитационного поля более 0,5 мГал (рис. 1.10.), сопряженными с максимумами аномалий магнитного поля более 1000 нТл (рис. 1.11., рис. 1.13.). В электрических полях аномалиеобразующие объекты проявляются наиболее часто пониженными значениями кажущихся сопротивлений менее 500 Омм и повышенными значениями кажущейся поляризуемости более 5% (рис. 1.12., рис. 1.14.-1.15.). На Очуногдинском рудопроявлении оруденение приурочено в основном к биотитолитам, образуя микровключения в гранодиорит-порфирах и ороговикованных алевролитах, скарны встречаются реже. Скарнированные разновидности в магнитных и гравитационных полях проявляются аналогично Култуминскому месторождению. Оруденелые биотитолиты не создают интенсивных гравитационных и магнитных аномалий, однако в электрических полях (за счет сульфидной минерализации) выделяются пониженными значениями кажущегося сопротивления менее 500 Омм и кажущейся поляризуемости более 5% (рис. 1.12., рис. 1.14.-1.15.).

Примененный на Култуминском рудном поле комплекс геофизических методов в составе: гравиразведка, магниторазведка и электроразведка в модификации вызванной поляризации позволил успешно и эффективно опосредовать территорию, выявить потенциально перспективные аномалиеобразующие объекты, которые требуют дальнейшего изучения горными и буровыми работами.

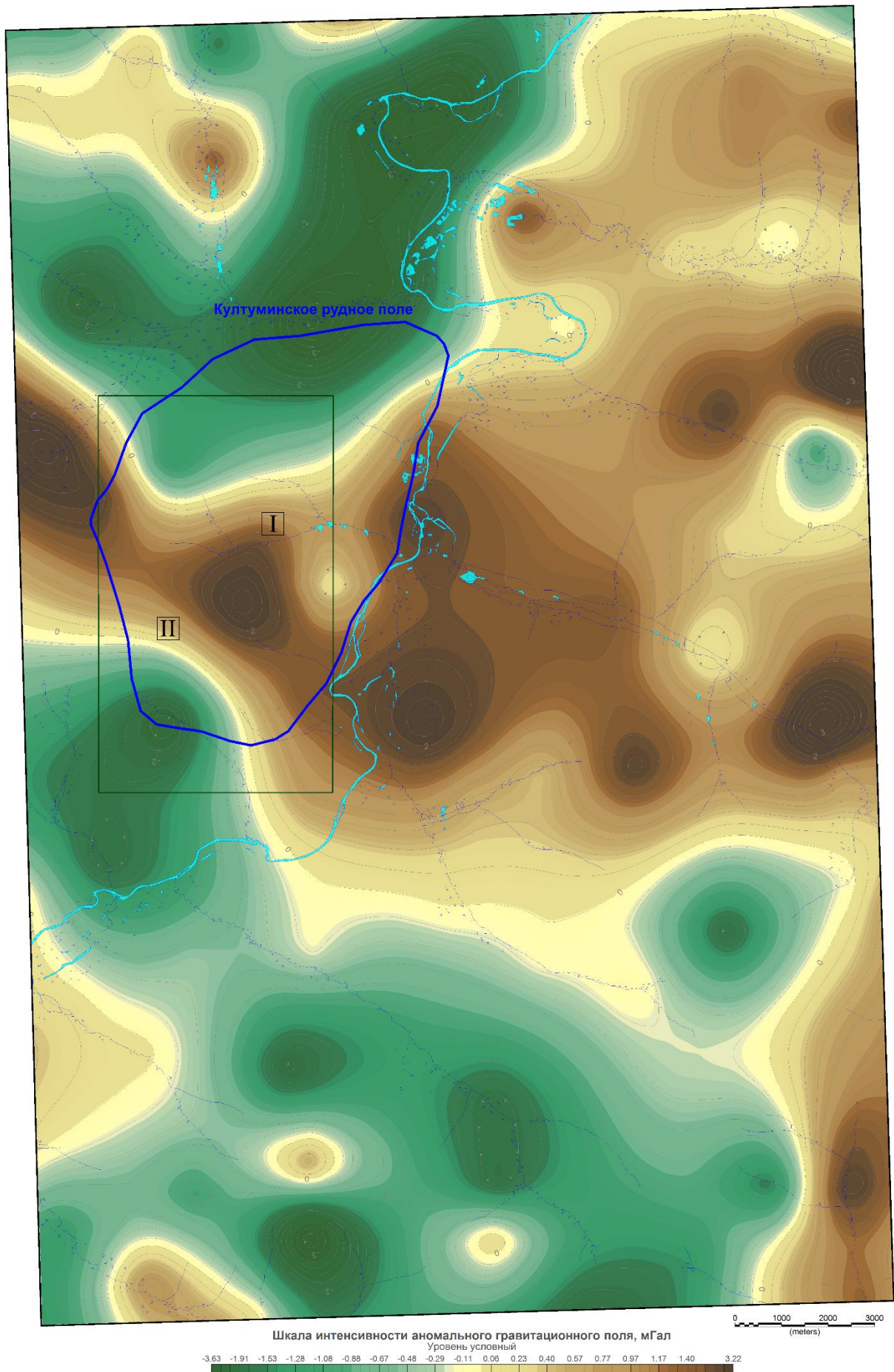


Рис. 1.10. Схема аномального гравитационного поля на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов ФГУП ВСЕГЕИ, 2013 г.

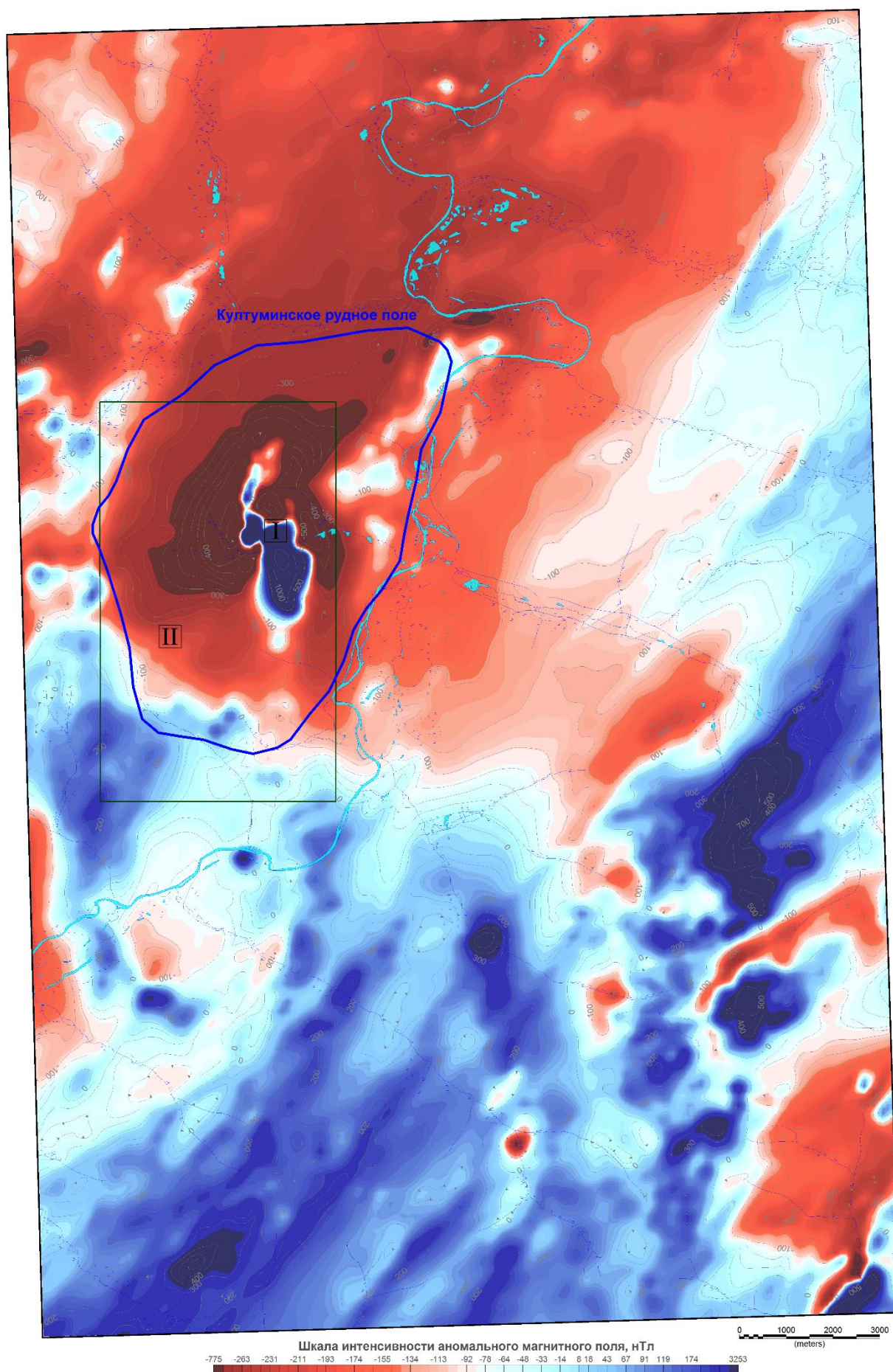


Рис. 1.11. Схема аномального магнитного поля на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов аэрогеофизики ФГУП ВСЕГЕИ, 2013 г.

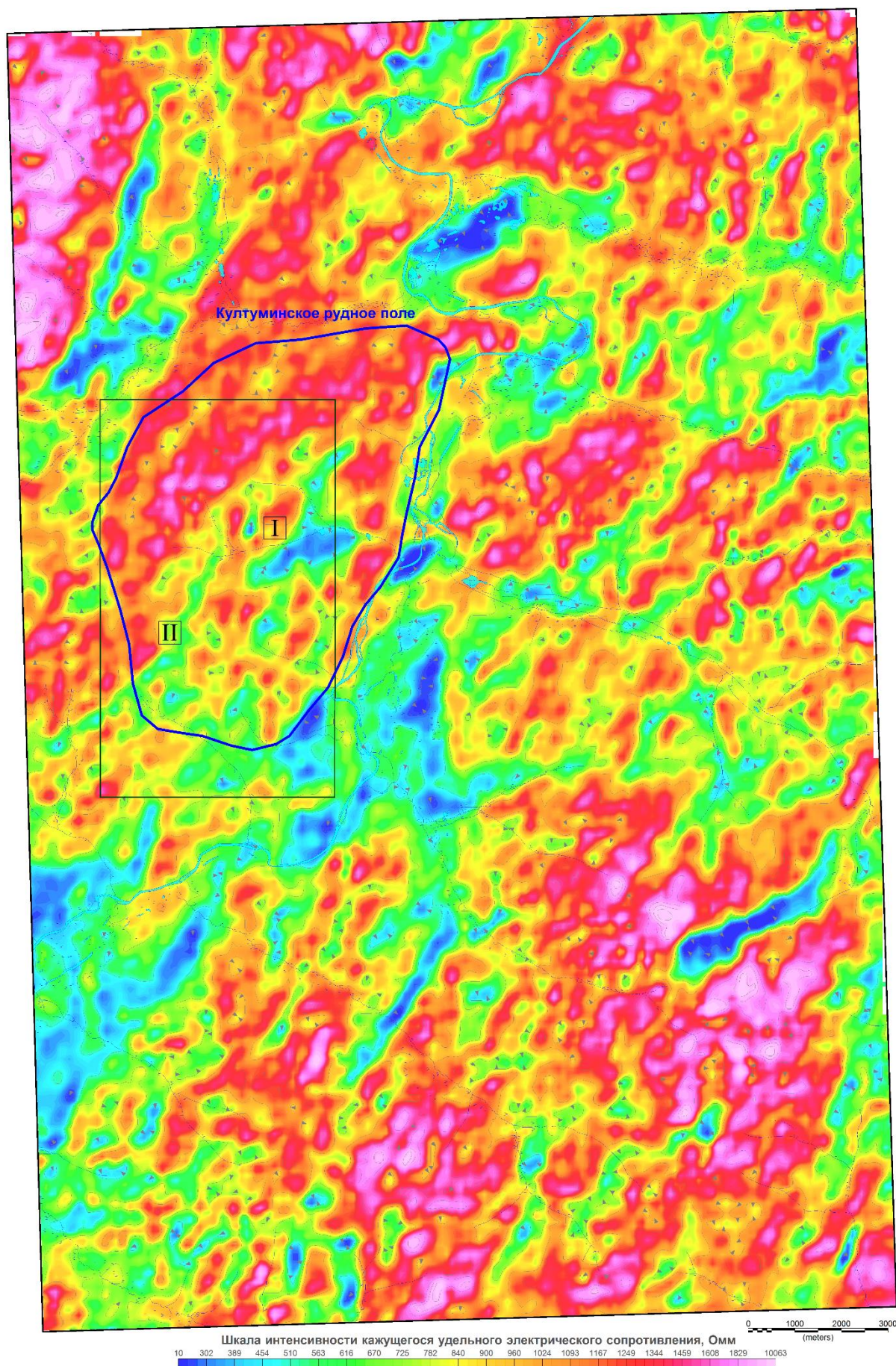


Рис. 1.12. Схема кажущегося удельного электрического сопротивления на Култуминской площади. Составил Груздев Р.В. с использованием фондовых материалов аэрогеофизики ФГУП ВСЕГЕИ, 2013 г.

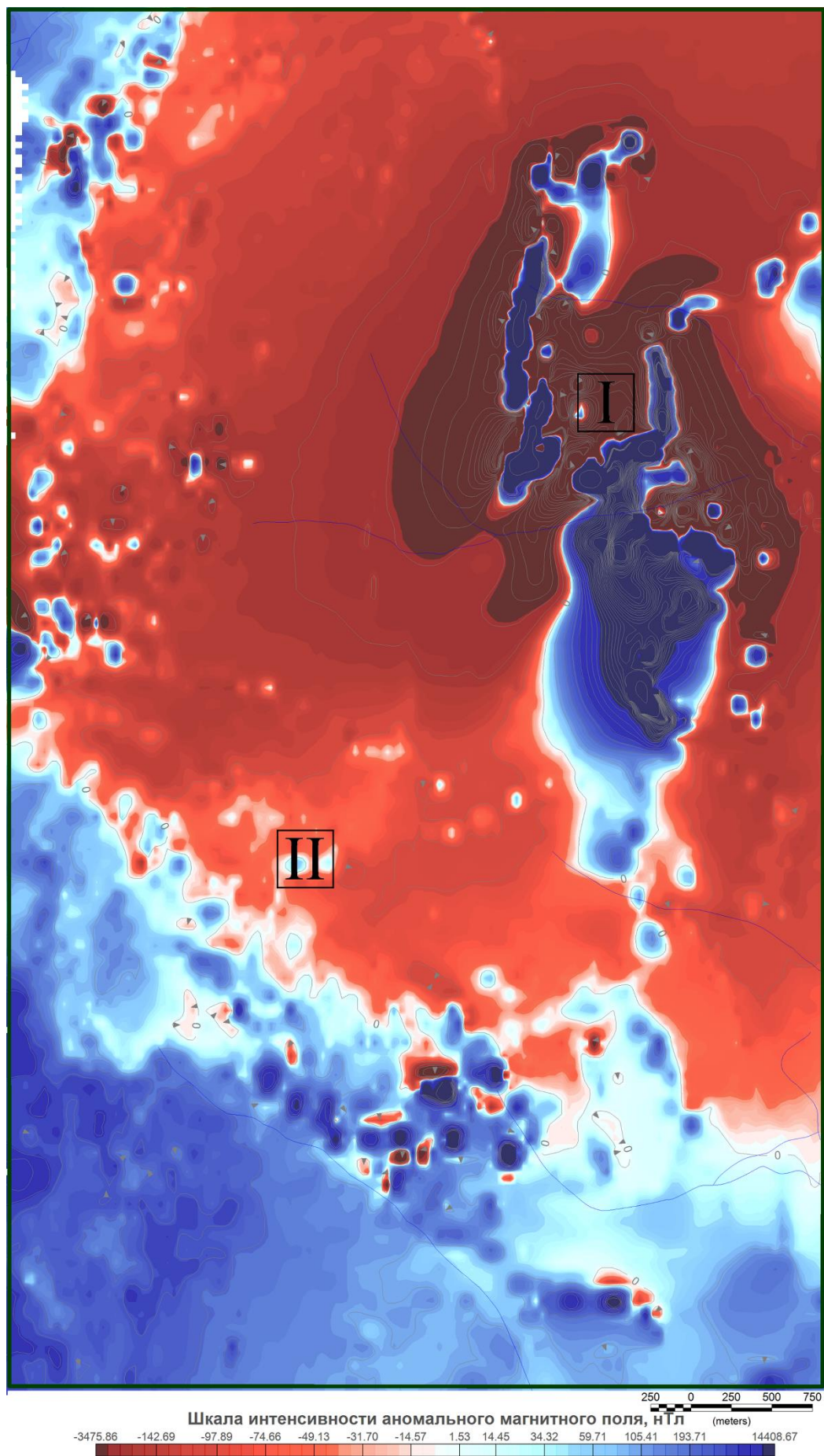


Рис. 1.13. Схема аномального магнитного поля на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В. с использованием материалов ООО «Востокгеология», 2012 г.

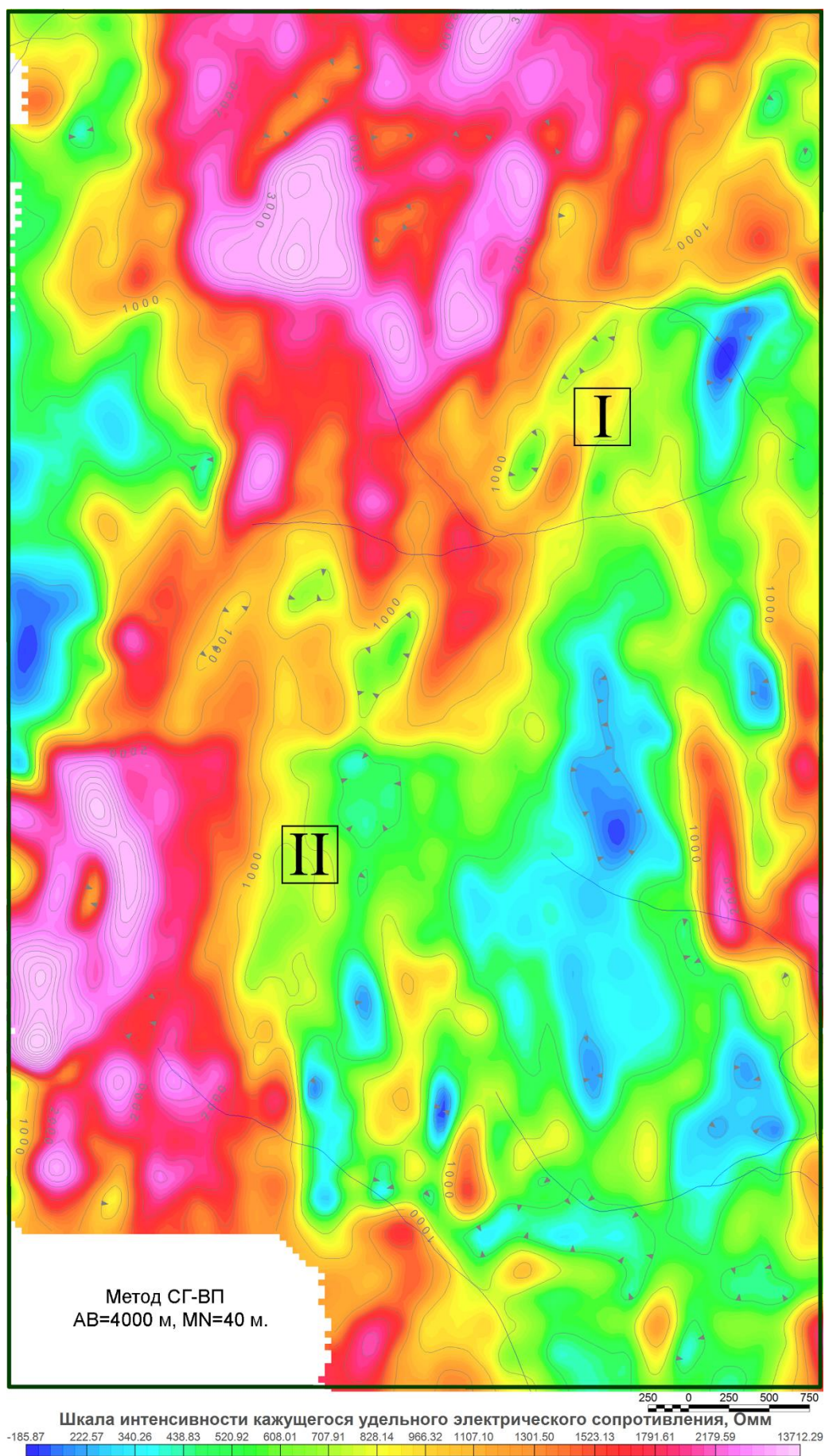


Рис. 1.14. Схема кажущегося удельного электрического сопротивления на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В. с использованием материалов ООО «Востокгеология», 2012 г.

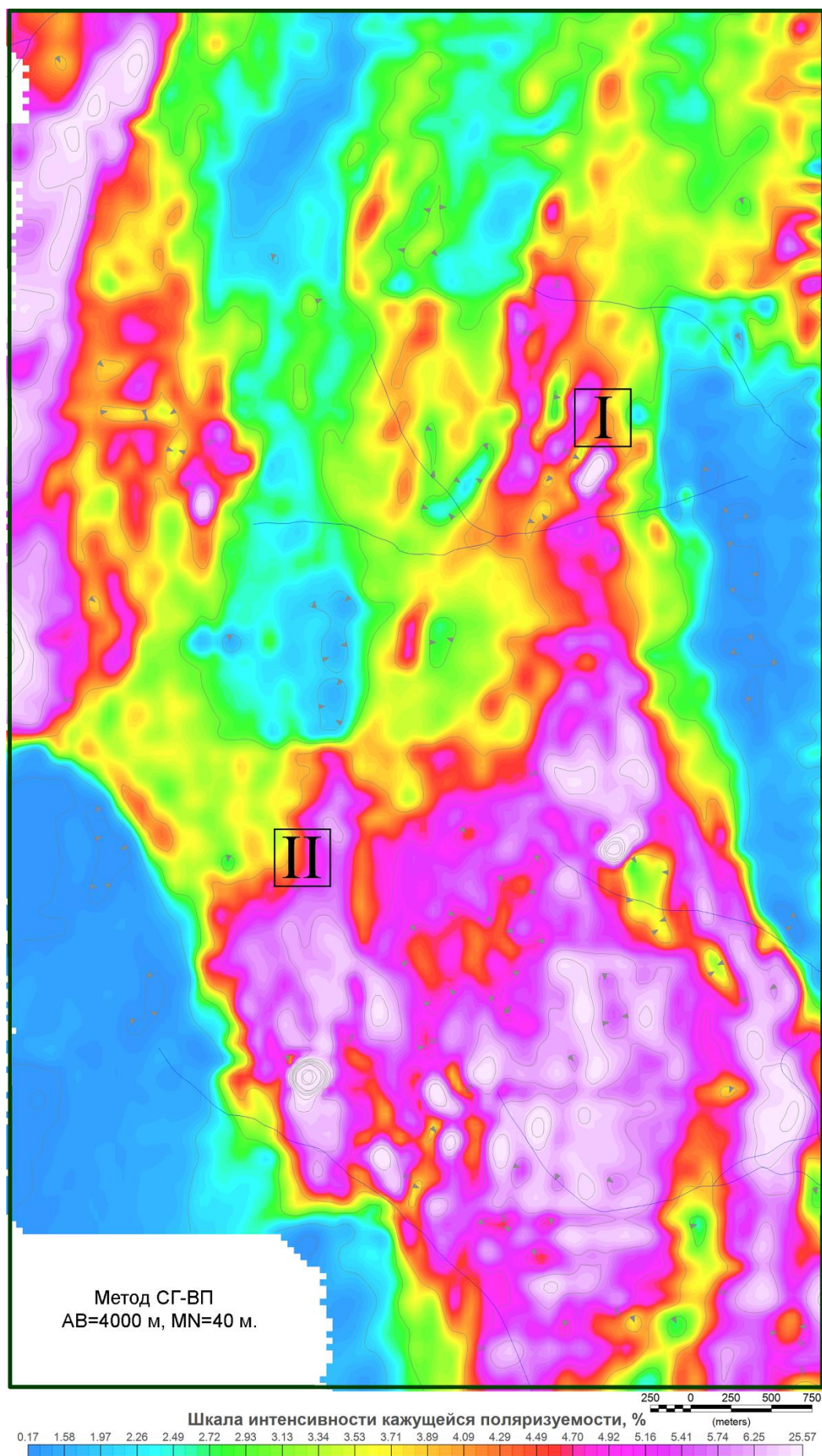


Рис. 1.15. Схема кажущейся поляризуемости на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В. с использованием материалов ООО «Востокгеология», 2012 г.

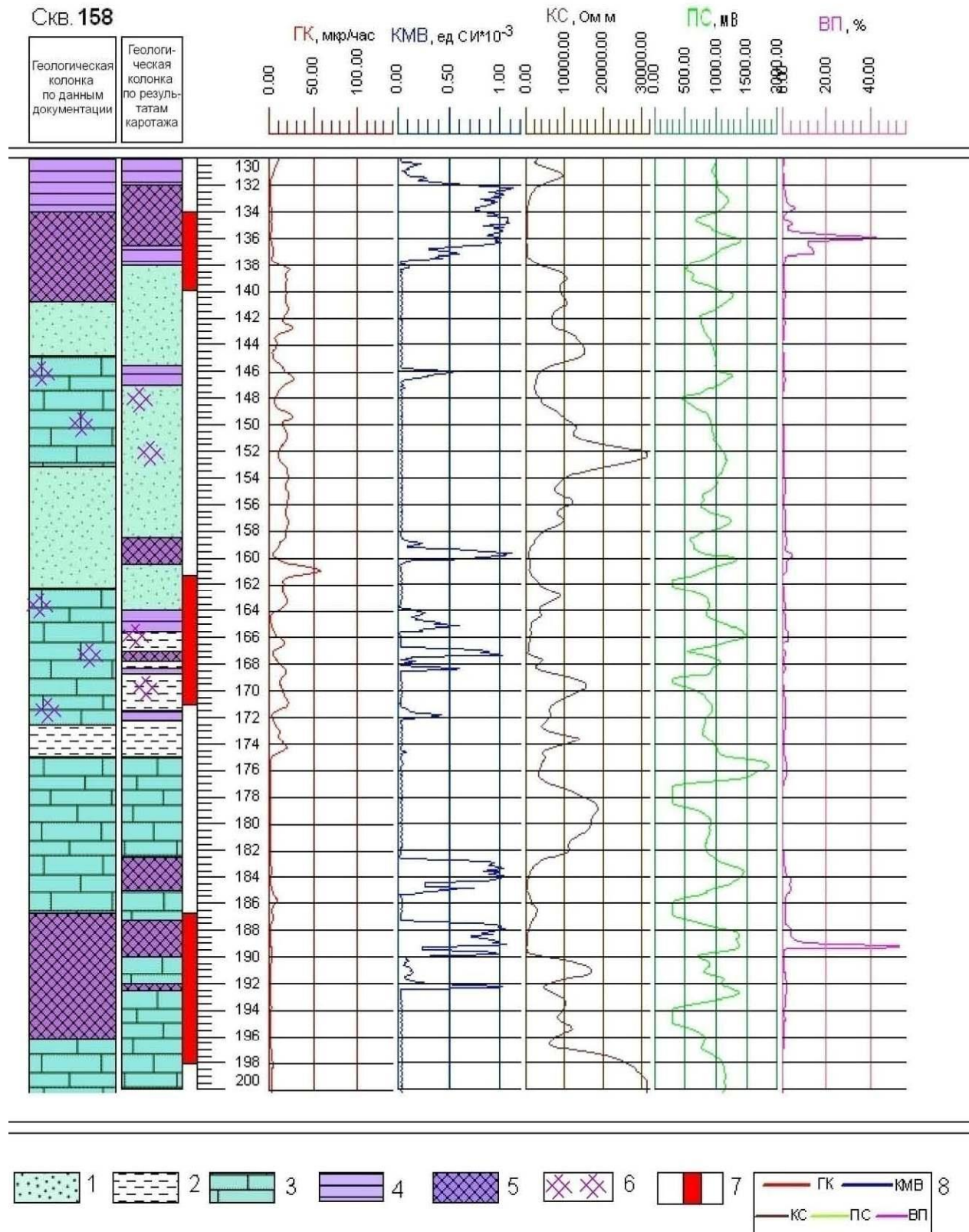


Рис. 1.16. Схема сопоставление геологической колонки и диаграмм каротажа на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В. по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г.

1 – песчаники; 2 – алевролиты; 3 – известняки; 4 – скарны силикатные с низким содержанием магнетита; 5 – скарны магнетитовые; 6 – скарнирование; 7 – рудные интервалы по данным опробования; 8 – каротажные диаграммы: ГК – гамма-каротаж, КМВ – каротаж магнитной восприимчивости, КС – каротаж сопротивлений, ПС – каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации, ВП – каротаж потенциалов вызванной поляризации.

Помимо эффективности наземного комплекса геофизических методов следует отметить геофизические исследования в скважинах. На диаграммах каротажа (см. рис. 1.16) представлены две геологические колонки: первая построена по материалам документации керна, вторая скорректирована по результатам каротажа с применением комплекса ГИС. Преимущество скорректированной геологической колонки является наиболее точное определение контакта литологических разностей. В том числе на кривой магнитной восприимчивости четко фиксируется границы скарнов, скарнированных разновидностей и вмещающих пород. В зависимости от амплитуды аномалий КМВ удастся разбраковать скарны с низким и повышенным содержанием магнетита.

На кривых КС и ВП скарны и скарнированные разновидности пород выделяются пониженными значениями сопротивления и повышенными значениями вызванной поляризации (на рис. 1.16. из-за экстремальных значений ВП, аномалии уровня 3-10 % слабо визуализированы).

Следует отметить, что указанный комплекс ГИС весьма эффективно рекомендовал себя на объектах скарнового типа и применялся ООО «Восток-геология» на таких объектах как Быстринское, Лугоканское, Чингитайское месторождения и другие.

Геофизическая характеристика района работ

В связи с долговременным изучением Култуминской площади большим количеством геологических и геофизических исследований, при участии автора, накоплено большое количество информации на основе которой ниже приведена краткая геофизическая характеристика района работ [97; 112; 114; 117].

Среди стратифицированных образований района наиболее резко выделяются в геофизических полях отложения быстринской свиты. Входящие в состав свиты карбонатные породы отличаются повышенной плотностью – $2,75 \text{ т/м}^3$, а скарнированные за счет повышенного содержания магнетита и сульфидов – до 3 и более т/м^3 . Соответственно в скарнированных известняках возрастает магнитная восприимчивость от 2039 – до $5450 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$, а удельное электрическое сопротивление падает с 5707 до 4325 Омм за счёт проводимости рудных

минералов. В связи с высокой плотностью карбонатов локальные максимумы силы тяжести гравитационного поля наблюдаются над участками распространения указанных образований, особенно их скарнированных разностей. В пределах рудного поля породы ерниченской толщи обладают знакопеременным дифференцированным магнитным полем интенсивностью от +1000 до -500 нТл, что объясняется присутствием в ороговикованных и скарнированных разностях пирротина (уч. Очуногдинский) и магнетита (Култуминское месторождение). Средняя плотность пород $2,71 \text{ т/м}^3$, кажущееся электрическое сопротивление изменяется от 100 до 2000 Ом в зависимости от интенсивности сульфидизации и тектонической проработки.

Над участками развития магнетитовых скарнов наблюдаются интенсивные положительные аномалии магнитного поля. В электрических полях скарнам соответствуют повышенные значения (3-10% и более) кажущейся вызванной поляризации и пониженные кажущегося сопротивления. Неизменённые карбонаты обладают высокими значениями кажущегося электрического сопротивления. Аномальное магнитное поле карбонатных пород спокойное знакопеременное интенсивностью от +200 до -200 нТл, достигая значений до 5000-26000 нТл над магнетитовыми скарнами в пределах Култуминского месторождения.

Площадь развития образований быстринской свиты в аэрогамма-поле отражается относительно низкими значениями радиоактивности, которые варьируют в интервале 6-12 мкР/ч. Поле ΔT_a характеризуется низкими положительными значениями, интенсивностью в 50-200 нТл.

Бошагочинский массив по многим характеристикам существенно отличается от Култуминского массива, но геохимическая специализация и металлогеническое значение их в значительной степени идентичное. Массив обладает значительно меньшим размером, занимает площадь около 8 км^2 на водораздельном пространстве падей Бошагоча и Гутца. Выход характеризуется исключительно изрезанными извилистыми границами с многочисленными апофизами и выступами. Наряду с осадками алтачинской свиты вмещающими породами на

значительной территории являются гранитоиды первой и второй фаз ундинского комплекса. По составу массив представлен преимущественно гранодиорит-порфировой фацией. В магнитном поле оба массива характеризуются отрицательными значениями ΔT_a , хотя на отдельных участках Бошагочинский массив отличается более дифференцированным магнитным полем.

По данным аэрогаммаспектрометрической съёмки гранитоиды шахтаминского комплекса обладают радиоактивностью 12-15 мкР/ч, содержат урана $2-4 \cdot 10^{-5}\%$, тория $8-12 \cdot 10^{-4}\%$, калия 2,5-3%. Наиболее эродированные части интрузивов характеризуются заметным повышением содержания калия до 3,5% (северная часть Култуминского выхода). Средние значения плотности гранитоидов составляют $2,62 \text{ т/м}^3$, магнитной восприимчивости – $374 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$, среднее значение кажущегося электрического сопротивления – 5503 Ом.

Гранитоиды кукульбейского комплекса очень чётко оконтуриваются на радиометрических картах, где им соответствуют повышенные значения практически всех составляющих компонентов: К-2,5-3%; Th- $(10-12) \cdot 10^{-4}\%$; U- $(2-3) \cdot 10^{-4}\%$. Общий радиоактивный фон гранитов кукульбейского комплекса составляет 40 мкР/ч. В магнитном поле гранитоиды отражены слабыми отрицательными аномалиями. Среднее значение плотности гранитов комплекса составляет $2,54 \cdot 10^3 \text{ т/м}^3$, магнитной восприимчивости – $849 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$, среднее значение кажущегося электрического сопротивления – 4695 Ом. На площади работ с гранитами кукульбейского комплекса не связано эндогенной рудной минерализации.

На протяжении ряда лет многими исследователями изучались физические свойства горных пород и руд района [112; 117]. В том числе большой вклад в изучение физических свойств Култуминского рудного поля внесен в период проведения геофизических исследований ООО «Востокгеология» [114]. По результатам материалов предшествующих исследований получены следующие усредненные значения удельного электрического сопротивления, поляризуемости, плотности и магнитной восприимчивости для горных пород (табл. 1.1.).

Таблица 1.1. Физические свойства пород и руд Култуминского рудного поля.

Группы пород и руд	Средние значения плотности, т/м ³	Средние значения магнитной восприимчивости, 10 ⁻⁵ СИ	Среднее значение кажущегося сопротивления, Ом·м	Среднее значение кажущейся поляризуемости, %
1. Стратифицированные породы				
Ерниченская толща. Песчаники, алевролиты	2,71	1852	1813	1,25
Быстринская свита. Известняки, доломиты	2,75	2039	5707	0,87
Билетуйская свита. Сланцы	2,81	1625	2150	0,45
2. Магматические породы				
Кукульбейский комплекс. Граниты лейкократовые	2,54	849	4695	0,95
Шахтаминский комплекс. Гранодиорит-порфиры	2,62	374	5503	1,30
Ундинский комплекс. Граниты биотитовые лейкократовые	2,60	552	4832	1,15
3. Измененные породы				
Скарнированные разновидности пород	2,90	более 5000	1566	3,40
Магнетитовые скарны	3,25	более 10000	318	5,26

По данным предшествующих работ, проведенных многочисленными исследователями, в том числе ООО «Востокгеология», можно сделать вывод, что в зонах тектонических нарушений происходит уменьшение электрического сопротивления на порядок, что приводит к сближению кажущегося сопротивления для некоторых разностей пород. Также в зонах тектонических нарушений происходит снижение магнитной восприимчивости за счет разуплотнения и обводнения пород.

На основе характерных геофизических аномалий, выявленных методами электроразведки, гравиразведки и магниторазведки автором разработана геофизическая схема Култуминского рудного поля (рис. 1.17.). На геофизической схеме продемонстрированы контуры аномалий, которые характерны предполагаемым потенциально перспективным поисковым объектам Култуминского рудного поля (критерии выделения аномалий приведены на рисунке).

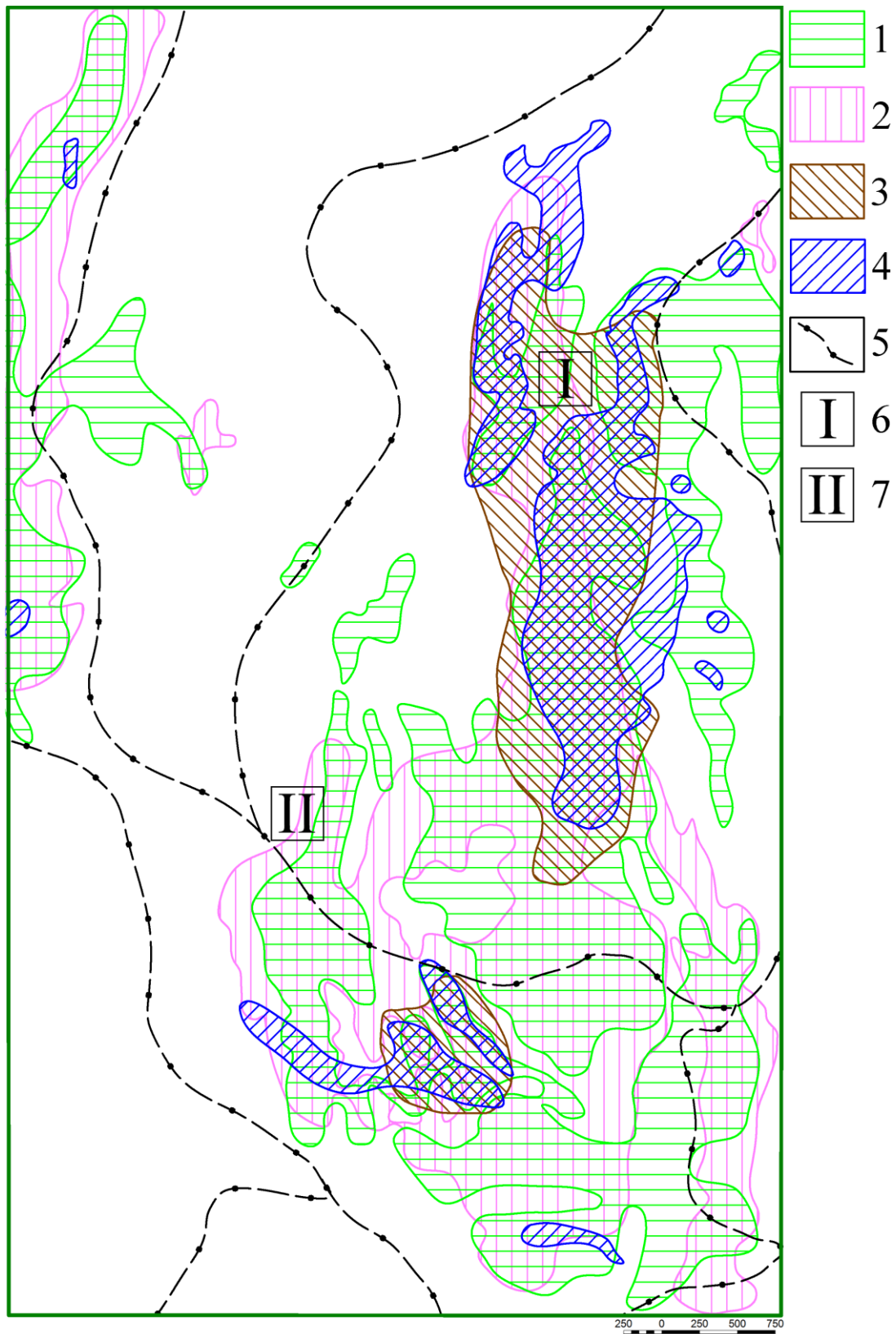


Рис. 1.17. Схема характерных геофизических аномалий Култуминского рудного поля выявленных на основе методов электроразведки, гравиразведки и магниторазведки. Составил Груздев Р.В., 2019 г.

1 – аномалии кажущегося сопротивления интенсивностью < 500 Ом; 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).

Взаимное положение, форма и интенсивность геофизических аномалий позволяют эффективно локализовать и картировать поисковые объекты в пределах рудного поля. Геофизические границы структурно-вещественных комплексов дифференцированы по уровню фоновых значений полей (электроразведки, гравиразведки и магниторазведки), тем самым наглядно отображают вмещающую среду поисковых объектов.

На геофизической схеме прослеживается четкая пространственная корреляция положения геологических границ (см. рис. 1.4.) с выявленными геофизическими границами структурно-вещественных комплексов, что подтверждает достоверность и высокую эффективность геофизических методов исследований при изучении объектов Култуминского рудного поля.

ВЫВОДЫ

1. Современная геологическая структура площади создана в процессе длительной эволюции при неоднократной смене геодинамических режимов.

2. Геолого-структурная позиция Култуминского рудного поля в Монголо-Забайкальской минерагенической провинции и принадлежность к Быстринско-Лугоканской минерагенической группе.

3. В минерагеническом отношении главную роль играла эпоха средне-позднеюрской тектоно-магматической активизации, когда образовались специализированные на медь, золото и другие элементы интрузии шахтаминского комплекса.

4. Ведущую роль в эндогенной металлогении площади играет золото-медно-железное оруденение скарнового типа, парагенетически связанное с Култуминской гранодиорит-порфировой интрузией.

5. Рудные зоны отчетливо выделяются геохимическими ореолами с повышенными концентрациями металлов: Au, Ag, Cu, Mo, As, Zn, Pb. Зональность в размещении рудных компонентов, свойственная порфировым системам, проявляется по следующей схеме (от контакта интрузии к периферии): $Mo \rightarrow Cu + Au + As \rightarrow Ag + Pb + Zn$.

6. Участки развития магнетитовых скарнов за счет высоких значений плотности (более $2,90 \text{ т/м}^3$) и магнитной восприимчивости (более $10000 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$) выделяются локальными максимумами гравитационного поля (от 0,5 и более 1 мГал) и интенсивными знакопеременными аномалиями магнитного поля (5000-26000 и более) нТл. В электрических полях рудные объекты картируются пониженными значениями кажущихся сопротивлений (500 Ом и менее) и высокими значениями в поле кажущейся поляризуемости (3-10 % и более). Зоны окисления создают интенсивные знакопеременные аномалии ЕП (до 300 мВ). По результатам геофизических исследований скважин магнетитовые скарны контрастно выделяются на кривых КС, ВП, ПС, МСК и главным образом в полях КМВ.

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОБЪЕКТОВ КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

2.1. Общие сведения строения Култуминского рудного поля

В минерагеническом отношении рудное поле входит в состав Култуминского рудного узла Будюмкано-Култуминского рудного района. В геологическом строении рудного поля принимают участие образования раннепалеозойского и мезозойского структурных этажей. Раннепалеозойские породы выполняют складчатые формы Култума-Ушумунской антиклинали, мезозойские – представлены гранитоидами средне-позднеюрской тектоно-магматической активизации, с которой связаны все рудные объекты района.

Наиболее древние образования рудного поля относятся к быстринской свите и ерниченской толще нижнего-среднего кембрия.

Породы быстринской свиты ($\text{Є}_{1\text{bs}}$) картируются в виде полосы меридионального простирания на востоке рудного поля – в ядерной зоне Култума-Ушумунской антиклинали (см. рис. 1.2., рис. 1.4.). Отложения свиты представлены доломитами и известняками с прослоями алевропесчаников и глинистых сланцев. Преобладают окрашенные в светлые тона доломиты, имеющие массивную, брекчиевидную, неяснополосчатую текстуру и зернистую структуру. Для известняков и известковистых доломитов более типичны тёмно-серые цвета и волнистослоистая текстура. Общая мощность отложений составляет не менее 700 м.

Терригенные отложения ерниченской толщи ($\text{Є}_{1-2}^{\text{er}}$) развиты в южной и западной части площади. Они слагают западное крыло Култума-Ушумунской антиклинали и различные по размерам ксенолиты среди гранитоидов Култуминского массива. Отложения толщи согласно залегают на породах быстринской свиты. Породы толщи представлены светло-серыми песчаниками аркозовыми и кварцитовидными, алевропесчаниками, тёмно-серыми до чёрных алевролитами тонкополосчатыми, прослоями и линзами серых известняков. Мощ-

ность карбонатных линз по данным буровых скважин от 10-20 м до 180 м [107, 109]. Общая мощность отложений толщи оценивается в 1200 м. Повсеместно терригенные породы ороговикованны до образования плагиоклаз-кордиерит-биотитовых, кварц-полевошпатовых и биотит-роговообманковых роговиков, а карбонатные породы скарнированы. Особенно высокая степень контактового метаморфизма отмечается на юге площади по левобережью р. Очуногда. Роговики содержат до 40 % новообразований кордиерита и плагиоклаза, кварца – 20 %, серицита – до 25 %, биотита – 15 %. В заметных количествах встречаются турмалин, титанит, апатит, рудный минерал – пирит или пирротин. Микро-структуры пород лепидогранобластовые, бластопсаммитовые, текстуры узловато-сланцевые, реже массивные. В результате контактового метаморфизма роговики нередко имеют псевдопорфировый облик интрузивных пород, что затрудняет их диагностику.

Интрузивные образования Култуминского массива занимают основную площадь рудного поля. Слагающие массив разнообразны по составу и облику породы относятся к третьей фазе шахтаминского интрузивного комплекса средне-позднеюрского возраста ($\gamma\delta\pi_3J_{2-3}\check{\text{с}}$, $\delta\pi_3J_{2-3}\check{\text{с}}$). Породы представлены гранодиоритами порфирового и порфировидного облика, гранит-порфирами, плагиогранит-порфирами, биотит-плагиоклазовыми порфиритами, диоритами, андезитовыми и диоритовыми порфиритами (рис 2.1.). Преобладают гранодиорит-порфиры. Возраст гранитоидов шахтаминского комплекса по данным K/Ar определений находится в диапазоне 167-155 млн. лет [57]. По материалам А.П. Берзиной на Cu-Mo-порфировом Шахтаминском месторождении (Восточное Забайкалье) уран-свинцовые датировки по циркону для рудоносного комплекса гранит-порфиров составляют 159-155 млн. лет [47].

Образование гранитоидов шахтаминского комплекса представляло сложный процесс, в пределах Култуминского рудного поля встречаются как типичные, так и гибридные разновидности гранитоидов. Состав и структура гранитоидов шахтаминского комплекса является характерной для магматических пород гранодиоритового ряда [112, 114].

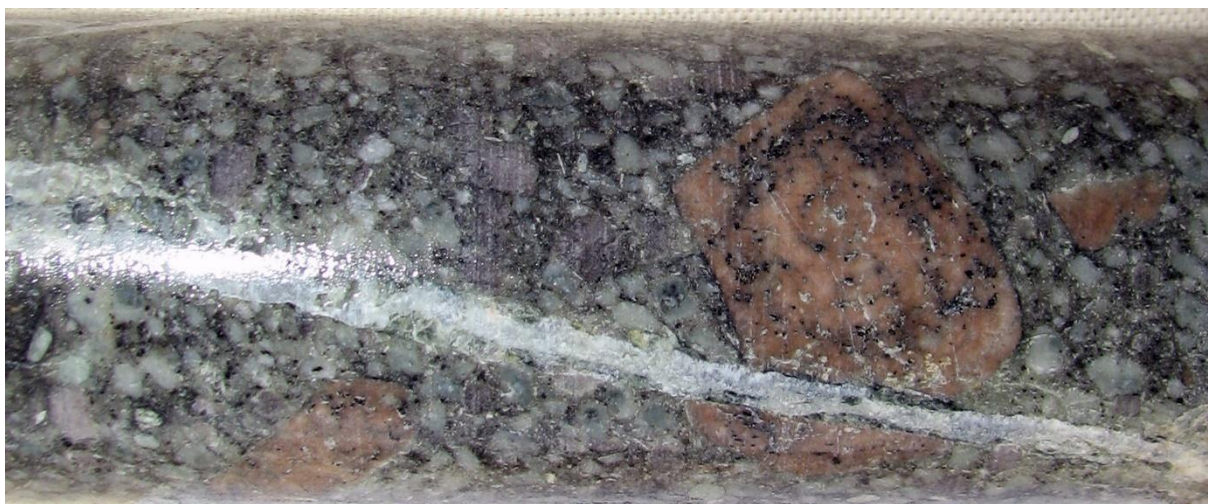


Рис. 2.1. Гранодиорит-порфир (шахтаминский комплекс) с порфировыми вкрапленниками кварца и полевого шпата (фото керна), по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г.

Гранодиорит-порфиры состоят из фенокристаллов (15-50 %) и микрозернистой, аплитовой основной массы кварц-калишпат-плагиоклазового состава с примесью биотита и актинолитизированной роговой обманки. В фенокристаллах присутствуют зёрна оплавленного кварца, таблички полисинтетически сдвойникового олигоклаза, биотит, хорошо оформленные призмы и ромбы роговой обманки. В гибридных магматитах темноцветные минералы представлены актинолитом в сложных срастаниях с биотитом. Структура основной массы при типично «гранитном» составе минералов пилотакситивная и призматическизернистая, то есть характерная для средних пород. Обычны порфировые текстуры, хотя изредка встречаются и полосчато-трахитоидные, обусловленные субпараллельным расположением вкрапленников плагиоклазов.

Кроме магматитов шахтаминского комплекса, на юго-западе рудного поля в правом борту р. Очуногда картируется фрагмент Сивочиканского массива гранитов кукульбейского интрузивного комплекса позднеюрского возраста ($\gamma J_3 k$). Макроскопически породы комплекса представлены серыми с розоватым оттенком средне-крупнозернистыми порфировидными биотитовыми и лейкокрастовыми гранитами. Характерной особенностью гранитов являются крупные, до 3 см по удлинению, порфировые выделения розового калишпата и округлые выделения дымчатого кварца. Среди жильных пород комплекса отмечаются немногочисленные и маломощные дайки аплитов и пегматоидных гранитов. Из

акцессорных минералов в гранитах присутствуют в весовых количествах магнетит, ильменит, титанит, апатит, циркон и в знаковых – ураноторит, уранинит, монацит, гранат, рутил, ортит. Взаимоотношения кукульбейских гранитов с шахтаминскими гранодиорит-порфирами Култуминского массива изучены в пределах рудопроявления Очуногдинское. На разрезах видно, как дайкообразные сателлиты лейкогранитов прорывают гранодиорит-порфиры Култуминского массива [112, 114]. Подобные факты, только в канавах, наблюдались при производстве ГДП-50 [117]. Эти обстоятельства указывают на более молодой возраст лейкогранитов кукульбейского комплекса, чем гранодиорит-порфировой интрузии Култуминского массива. На площади работ с гранитами кукульбейского комплекса не связано эндогенной рудной минерализации.

Дайки биотит-роговообманковых лампрофиров и долеритов, секущие породы Култуминского массива, условно отнесены к нерчинскозаводскому комплексу позднеюрского возраста ($\chi, \beta J_{3nz}$). Выполненные этими породами дайки имеют мощность от долей метра до 20 м, падение чаще пологое, чем крутое и различное простирание без какого-либо преобладающего направления. В канавах и скважинах нередко фиксировались лампрофиры и долериты с зонами заделки, отчётливо прорывающие гранитоиды шахтаминского комплекса. Чаще всего эти взаимоотношения наблюдались на участке Очуногдинский. Как правило, дайки затронуты процессами пропилитизации и, реже, аргиллизации. Рудной минерализации с образованиями нерчинскозаводского комплекса не установлено [112, 114].

Структурное положение Култуминского рудного поля определяется пересечением Лево-Газимурской ветви глубинных разломов Газимурской мобильной зоны с глубинным Богдаты-Бошагочинским разломом СЗ простирания и серией нарушений меридионального направления (см. рис. 1.2., рис. 1.4.). В узле пересечения этих разломов в средне-позднеюрское время возник рудоносный Култуминский массив. Нарушения СВ ориентировки (фрагменты Лево-Газимурского разлома) и сопряжённые с ними меридиональные структуры определяли фронт раннего железо-магнезиального метасоматоза, ответственно-

го за проявление на Култуминском месторождении и участке Очуногдинский магнетитовых скарнов и биотит-кордиеритовых роговиков во вмещающей массив терригенно-карбонатной толще кембрия. В массиве к узлу пересечения этих нарушений в верховьях р. Култумушка приурочено тело эксплозивных брекчий гранодиорит-порфиров с незначительной молибденитовой минерализацией.

Разломы СЗ направления проявлены в виде зон дробления и милонитизации мощностью от 10 м до 1 м и менее. Падение зон на юго-запад под углами 50-60°. Подобные нарушения в пределах рудного поля сопровождаются широкими ореолами березитизации (особенно на юго-востоке Култуминского месторождения).

Также на рудном поле развиты тектонические нарушения широтного направления – в северном борту р. Култумушка. В канавах они выражены обширными зонами интенсивной трещиноватости, кливажа и отдельными тектоническими швами с глиной трения. Падение трещин и швов крутое – 70-80° на юг. В геофизических полях эти дислокации выражены отчётливым нарушением корреляции элементов электрического и особенно магнитного полей. В геологическом отношении широтные разломы представляют систему поздних сбросо-сдвигов, ступенчато деформировавших как массив, так и уже скарнированные рудоносные терригенно-карбонатные породы под гранодиорит-порфирами.

Кроме перечисленных основных систем разломов, на площади рудного поля исключительно широко проявлены локальные тектонические нарушения. Они осложняют контакты массива и его апофиз, а также пород различной компетентности, типа доломитов и песчаников. Подобные нарушения фиксируются в канавах и керне скважин зонками милонитизации или дробления мощностью от 10 см до 1 м. Они предопределяли проницаемость пород для гидротермальных растворов и последующего рудоотложения.

Таким образом, на Култуминском рудном поле проявлена разнообразная эндогенная минерализация, связанная со становлением Култуминской интрузии гранодиорит-порфиров. Основная, имеющая промышленную ценность минерализация – медь, золото, серебро, железо магнетитовое. Оруденение явилось

продуктом единого пневматолито-гидротермального процесса, эволюционировавшего от скарнов до березитов и аргиллизитов. Рудные объекты послужили источниками золота в россыпях по рр. Очуногда и Култумушка. Золото-медная минерализация Култуминского рудного поля сосредоточена на 2-х объектах: Култуминское месторождение и Очуногдинское рудопроявление.

2.2. Месторождение Култуминское

Характеристика Култуминского месторождения приведена по материалам ООО «Востокгеология» [112, 114].

Расположено на левобережье р. Газимур, в верховьях его левого притока р. Култумушка. Приурочено к восточному контакту Култуминского массива гранодиорит-порфиров. Поверхность участка сложена известняками, известковистыми доломитами быстринской свиты и алевролитами, песчаниками ерниченской толщи нижнего-среднего кембрия, прорываемыми гранодиорит-порфирами шахтаминского интрузивного комплекса средней-поздней юры (см. рис. 1.4., рис. 1.5.).

Сплошная монотонная толща известняков и доломитов быстринской свиты картируется на востоке участка. Выход известняков, имеющий меридиональное простирание, выполняет ядерную часть региональной Култума-Ушумунской антиклинали. Песчаники с линзами карбонатных пород и алевролиты ерниченской толщи слагают западное крыло антиклинали и эрозионные окна в краевой части порфировой интрузии. Мощность отложений ерниченской толщи по данным бурения на севере участка 200-280 м, на юге – варьируется от 120 м до 400 м и более, увеличиваясь с востока на запад [112, 114].

Гранодиорит-порфиры Култуминской интрузии картируются в центральной и западной части площади, образуя выходы сложной конфигурации. В пределах месторождения они слагают силлообразные тела, конформные со слоисто-складчатой структурой вмещающей среды ерниченской толщи и быстринской свиты. Мощность пологих тел обычно от первых метров до 20-40 м, ино-

гда в «раздувах» достигая 190-200 м [112, 114]. Контакты гранодиорит-порфиров с вмещающими алевропесчаниками часто постепенные. Пологие тела гранодиорит-порфиров представлены породами гибридного облика, в краевых частях изменяются от гранит-порфиров до диоритовых порфиров.

Терригенно-карбонатные породы в зоне влияния силлообразных порфировых тел скарнированы – превращены в актинолит-диопсидовые скарны с линзами магнетитовых скарнов (с содержанием магнетита 10 % и более). Два наиболее крупных выхода скарнов на поверхность – 240х60 м и 80х200 м – откартированы на ЮЗ и СВ склонах г. Инженерной в северной половине месторождения. Южнее р. Култумушка скарны перекрыты алевропесчаниками ерниченской толщи и гранодиорит-порфирами. На геологическом разрезе (рис. 2.2.) скарновые тела образуют линзы, прослой мощностью от 10 до 50 м в отложениях ерниченской толщи на севере участка, а на юге – оторочку мощностью 20-230 м вокруг подстилающих алевропесчаники известняков и доломитов быстринской свиты. Мощность линз и пластообразных тел магнетитовых скарнов в общей скарновой толще – от 2 м до 50 м.

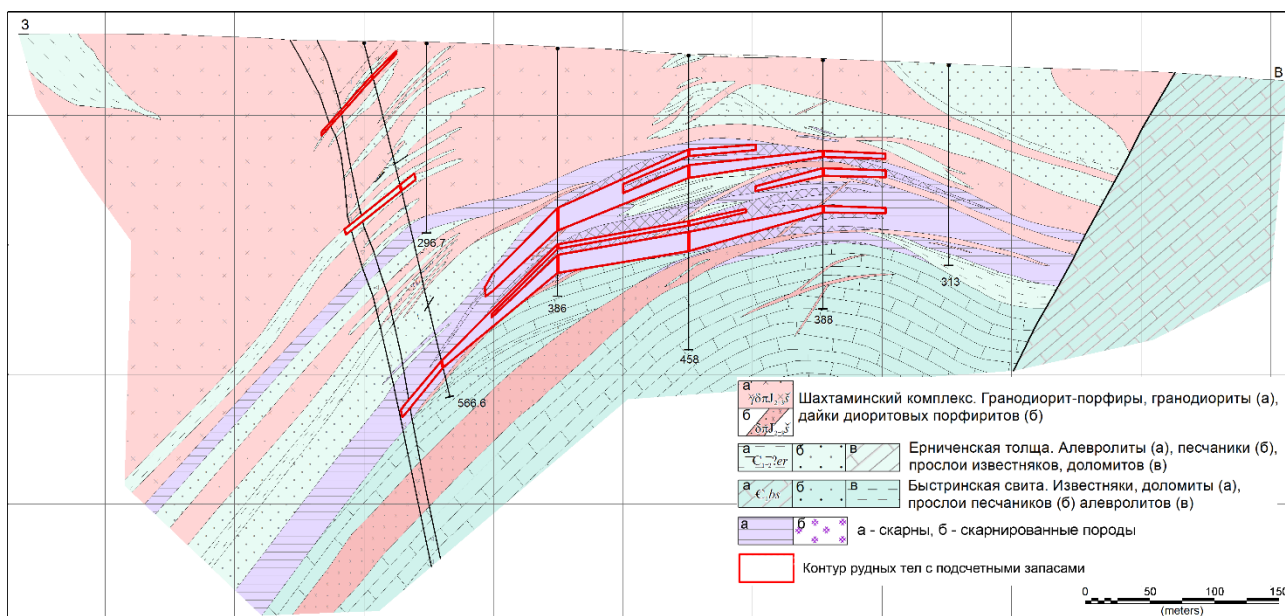


Рис. 2.2. Схематический геологический разрез (вынесен контур рудных тел с подсчетными запасами) по линии, пересекающей Култуминское месторождение, по материалам А.Х. Шафикова, ООО «Востокгеология», 2013 г.

В итоге на Култуминском месторождении буровыми работами выявлено единое скарновое поле, вытянутое в меридиональном направлении на более 3,2

км при средней ширине около 1,4 км.

Вся площадь участка покрыта делювиально-элювиальным шлейфом рыхлых отложений – суглинков со щебнем. Мощность наносов изменяется от 0,5 м на вершинах сопок до 12 м в нижних частях склонов, в среднем составляя 2 м по результатам проходки канав.

Структура месторождения образована сочетанием складчатых форм кембрийских пород и разрывных нарушений. Основное значение для морфологии рудных тел имеют антиклинали высоких порядков, осложняющие восточное крыло региональной Култума-Ушумунской антиклинальной структуры.

На юге месторождения ось скарнового шарнира куполовидной антиклинали прослеживается в меридиональном направлении, постепенно воздымаясь с глубины 200 м до 40 м от поверхности. Скарны согласно облегают купол антиклинали, имея максимальную мощность в замковой части. Севернее р. Култумушка реставрируется гребневидная антиклинальная форма в терригенно-карбонатной толще. Ось известнякового шарнира ориентирована на СВ, постепенно воздымаясь в этом направлении. Западное (более крутое) крыло антиклинали частично уничтожено (ассимилировано) гранодиорит-порфирами, восточное (более пологое) сохранилось лучше. Здесь тела продуктивных скарнов тяготеют к крыльям складки, а в замке, вероятно, эродированы.

Тектоническая структура участка обусловлена пересечением разнонаправленных нарушений, отражающих региональные разломы площади. Система субширотных нарушений, проявленная севернее р. Култумушка, делит площадь участка месторождения на три блока, отличающихся характером складчатости слоистых терригенно-карбонатных толщ. Последнее подтверждается результатами исследования глубинного строения рудного поля на основе авторской интерпретации гравитационных и магнитных полей.

В южном (опущенном) блоке развита пологая куполовидная антиклиналь, в центральном (приподнятом) блоке залегание слоистых толщ волнисто-субгоризонтальное, в северном блоке – устанавливается гребневидная антиклинальная форма с частично уничтоженным западным крылом. Субширотные

разломы представляют систему ступенчатых сбросов с незначительной сдвиговой составляющей. На поверхности они вскрыты в канавах, представлены широкими зонами повышенной трещиноватости с маломощными милонитовыми швами, падающими на юг под углами 60-80°. Нарушения СЗ направления проявлены в южном блоке участка. Представлены зонами дробления и милонитизации мощностью 1-10 м. Падение разломов юго-западное под углами 50-60°. Эти нарушения осложняют морфологию краевой части интрузии, контролируют близповерхностные линзы магнетитовых скарнов и обширную зону березитовых изменений в гранодиорит-порфирах. Разломы СВ ориентировки развиты преимущественно в северном блоке. В гранодиорит-порфирах они проявлены зонами дробления мощностью от первых метров до 40 м, падают на СЗ под углами 55-70° и сопровождаются аргиллизацией. Кроме этого, на западном и восточном флангах южного блока фиксируются протяжённые меридиональные разломы. Они подчёркиваются градиентами электрического поля СГ. Разлом западного фланга в виде мощной зоны дробления, как предполагается, ограничивает развитие продуктивной скарновой толщи в западном направлении.

Развитое на месторождении золото-медно-железное оруденение приурочено к магнетитовым и пироксен-актинолит-флогопитовым скарнам, образованным по доломитизированным известнякам и, в меньшей степени, по алевролитам, послойным телам гранодиорит-порфиров и диоритовых порфиров.

Отдельные рудные сечения встречены в березитизированных гранодиорит-порфирах. Текстуры руд вкрапленные, гнездово-вкрапленные, реже прожилково-вкрапленные. Структуры мелкозернистые (преобладает размер зёрен 1-3 мм), но встречаются и гигантозернистые агрегаты с размером выделений отдельных индивидов халькопирита и пирита до 5-6 см. Основной полезный компонент руд – халькопирит – присутствует в количестве от долей % до 10 %. Содержание магнетита варьирует от 0,5 % до 60,57 %. Также постоянно встречается пирит (1-10 %) и редко – арсенопирит, борнит, галенит, сфалерит. Мельчайшие, размером доли мм, выделения самородного золота связаны с сульфидами, в основном с халькопиритом. Оруденение представлено одной халькопи-

рит-пирит-магнетитовой минеральной разновидностью руд с количественными вариациями содержаний минералов, в основном халькопирита и магнетита. Буровыми работами подтверждается развитие вышеупомянутого оруденения до глубины около 500 м [112, 114].

Скарны Култуминского месторождения продемонстрированы на рис. 2.3.

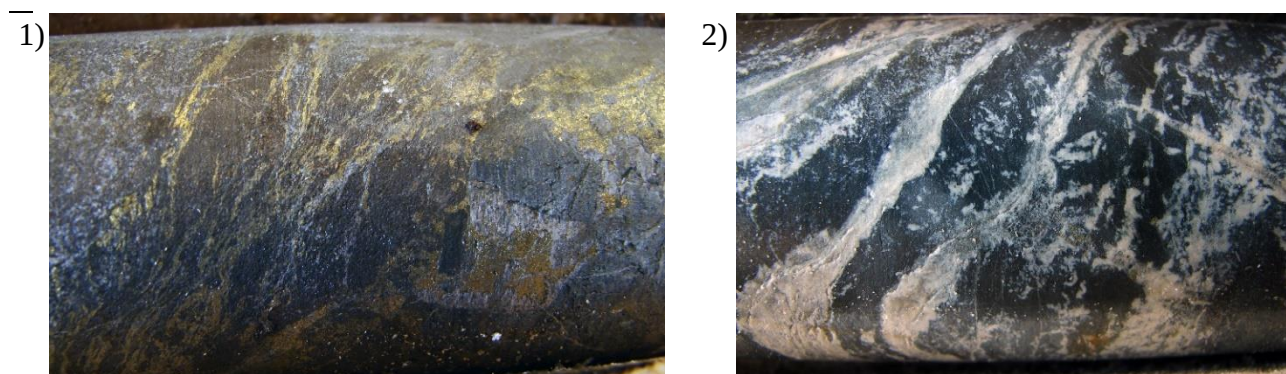


Рис. 2.3. Скарны Култуминского месторождения (фото керна), по материалам ООО «Восток-геология», 2013 г.

1 – Магнетит-пироксен-гранатовый скарн с вкрапленностью халькопирита; 2 – Полосчатый магнетит-пироксен-гранатовый скарн с прослоем карбоната.

На месторождении выделяется более 20 рудных тел. Наиболее протяжённые из них тяготеют к магнетитовым и примыкающим к ним актинолит-флогопит-диопсидовым скарнам. Они прослеживаются в меридиональном направлении, нередко рудные тела расщепляются на 2-4 ветви мощностью от 6 до 25 м – обычно в замке куполовидной антиклинали. Большинство рудных тел месторождения, образуют единую рудную залежь сложной формы, наследующую антиклинальные структуры вмещающих терригенно-карбонатных толщ, содержание полезных компонентов варьируют в широком диапазоне [112, 114].

Вскрытые в канавах рудные тела в магнетитовых и силикатных скарнах затронуты процессами окисления. По халькопириту развивается малахит, азурит, редко ковеллин, халькозин, по арсенопириту – скородит, а магнетит окисляется слабо. Данные фазового анализа меди в керновых и групповых пробах скважин показывают относительное количество окисленной меди 64-74 % в интервале 1-5 м, в интервале 5-7 м – 42 %, глубже окисленная медь практически отсутствует (содержание меньше порога чувствительности 0,02 % абс.) [112, 114]. То есть зона окисления выходящих на поверхность рудных тел развивает-

ся не глубже 7 м. Не вскрытые эрозией рудные тела практически не содержат окисленных медных минералов. Исключение составляют рудные тела, залегающие в трещиноватых скарнах в полосе широтных разломов. Там, в рудных интервалах на глубинах до 160 м от поверхности, количество окисленной меди варьирует от 15 до 85 % относительных, в среднем составляя 60 %. В технологической пробе ЛТП ИН 3, отобранной из керна специальной скважины, количество окисленной меди в руде достигает 95 %. Причиной высокой степени окисления руд на этом участке является сильная тектоническая нарушенность скарнов и их высокая проницаемость для атмосферных осадков [112, 114].

По данным химанализа 144-х групповых проб, отобранных из рудных сечений, золото-медно-магнетитовое оруденение сопровождается такими элементами, как Pb (преобладающее содержание менее 0,02 % - 0,0п %), Zn (0,0п % - 0,1 %), Mo (менее 0,005 % - 0,009 %), As (0,02 % - 0,2 %, W (0,00п %, одна проба 0,1 %) [112, 114]. Лишь в отдельных рудных сечениях встречены следующие повышенные концентрации:

Pb (0,16-1,71 %); Zn (1,2-2,9 %); As (0,57-7,19 %); Mo (0,079-0,307 %).

Широкое развитие борной минерализации (людвигит), ранее установленной и оценивавшееся [85], работами ООО «Востокгеология» не подтвердилось. Преобладающие содержания бора по анализам групповых проб составляют 0,0п % - 0,06 %, в пяти пробах – 0,1 % и в одной пробе магнетитовых скарнов – более 0,1 % (данные ПКСА). Результаты технологических исследований руд также не подтверждают наличие борных концентраций, представляющих практический интерес [112, 114].

Вне рудных сечений спорадически встречаются повышенные содержания элементов. Наиболее высокие из них: Pb до 0,9 %, Zn до 1,2 % As до 7,19 %, Mo – 0,307 %. Как правило, высокие концентрации элементов, сопровождающиеся серебром (максимально до 94 г/т) тяготеют к прослоям скарнированных известняков, реже к силикатным скарнам. Молибден приурочен к зонам дробления в силикатных скарнах и алевролитах, а наиболее высокое его содержание (0,307 %) отмечается в калишпатизированных гранодиорит-порфирах с более

поздней наложенной березитизацией. Высокие содержания мышьяка присутствуют в скарнированных известняках, алевролитах и гранодиорит-порфирах. Полиметаллическое и молибденовое оруденение образует мелкие линзы, не прослеживаемые по соседним скважинам и линиям, и не представляет практического интереса.

2.3. Рудопроявление Очуногдинское

Характеристика рудопроявления Очуногдинское приведена по материалам ООО «Востокгеология» [112, 114].

Рудопроявление Очуногдинское расположено в верховьях р. Очуногда, левого притока р. Газимур, приурочено к юго-западному контакту Култуминского массива. Поверхность участка сложена алевролитами и песчаниками ерниченской толщи нижнего-среднего кембрия, с СВ контактирующими с гранодиорит-порфирами Култуминской интрузии, а с ЮЗ – лейкогранитами Сивочиканского массива средней-поздней юры (см. рис. 1.4., рис. 1.5.).

Отложения ерниченской толщи картируются в центре участка в виде полосы СЗ простирания шириной 1 км, «зажатой» между выходами кукульбейских и шахтаминских гранитоидов, а также в ксенолитах размером до 100х300 м. Низы толщи сложены песчаниками, верхи – алевролитами. Песчаники и особенно алевролиты подвергнуты термальному воздействию интрузий: участками гранитизированны, повсеместно ороговикованы и превращены в биотит-кордиерит-плагиоклазовые роговики, похожие на породы порфирового облика, что затрудняет их диагностику. Линзовидное тело известняков скарнировано, а в краевых частях превращено в гумит-оливиновые скарны.

Основную часть площади участка занимают гранитоиды шахтаминского комплекса Култуминской интрузии. В них отмечаются обособления порфировидных гранодиоритов, диоритов, дайкообразные тела диорит-порфиритов. Простирание даек СЗ, падение преимущественно на СВ под углами 20-65°. Терригенная толща вблизи контакта пронизана множеством интрузивных тел

мощностью от первых м до 70 м, согласных с напластованием пород. Лейко-кратовые граниты кукульбейского комплекса (Сивочиканский массив) картируются в юго-западном углу площади. Это розовато-серые тёмнокварцевые средне-крупнозернистые граниты, прорывающие шахтаминские гранодиорит-порфиры. Они также оказали контактовое воздействие на ерниченскую толщу. Наиболее молодые образования – позднеюрские дайки лампрофиров и долеритов нерчинскозаводского комплекса – прорывают все породы площади. Преимущественное их направление СВ-субмеридиональное, то есть вкрест простирания остальных пород площади. Падают дайки в разных румбах под углами от 23 до 85° [112, 114].

В структурном плане участок представляет собой моноклиналь, выполненную отложениями ерниченской толщи, инъецированными послойными телами гранодиорит-порфиров, с пологим падением на СВ, под Култуминский массив. Разрывные нарушения широко проявлены среди гранодиорит-порфиров на севере участка. Это зоны дробления и милонитизации мощностью 20-100 м СЗ-меридионального простирания, с пологим (30-45°) падением на восток-северо-восток. В полосе терригенных отложений развиты фрагменты зон дробления и трещиноватости СЗ простирания. Чаще всего они осложняют контакты пологих силлообразных тел гранодиорит-порфиров. Предполагается, что в отличие от вышерассмотренной части Култуминского месторождения, на площади участка господствовала менее благоприятная для рудоотложения обстановка геодинамического сжатия, что сказалось на масштабах и качестве проявленной здесь рудной минерализации [112, 114].

Проведёнными разведочными работами ООО «Востокгеология» на участке установлены два района развития оруденения: на юге в полосе алевролитов ерниченской свиты и на севере в гидротермально изменённых гранодиорит-порфирах и ксенолитах алевропесчаников. Золото-медное оруденение связано с калишпат-кварц-биотитовыми изменениями с титанитом и альбитом, развивающимися как по ороговикованным, гранитизированным алевропесчаникам, так и гранодиорит-порфирам.

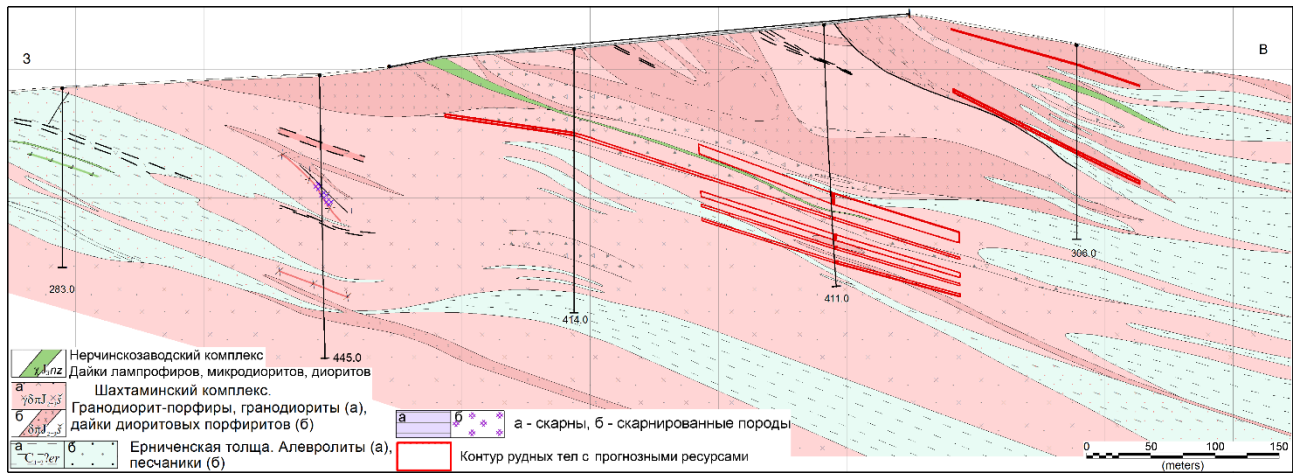


Рис. 2.4. Схематический геологический разрез (вынесен контур рудных тел с прогнозными ресурсами) по линии, пересекающей Очуногдинское рудопроявление, по материалам А.Х. Шафикова, ООО «Востокгеология», 2013 г.

Также рудные сечения отмечаются в березитизированных гранодиорит-порфирах севера участка и в скарнах. Основной полезный компонент руд – халькопирит – присутствует в количестве от долей % до первых процентов. Постоянно встречается пирит (1-5 %) и арсенопирит (1-5 %), редко пирротин (1 % и менее). Золото в виде мельчайших выделений присутствует в сульфидах. Текстуры руд вкрапленные и прожилково-вкрапленные, структуры мелкозернистые. Минеральный тип руд – малосульфидный халькопирит-пирит-арсенопиритовый (сульфидов до 5%). На рис. 2.5 продемонстрированы фото керн рудовмещающих объектов Очуногдинского рудопроявления [112, 114].

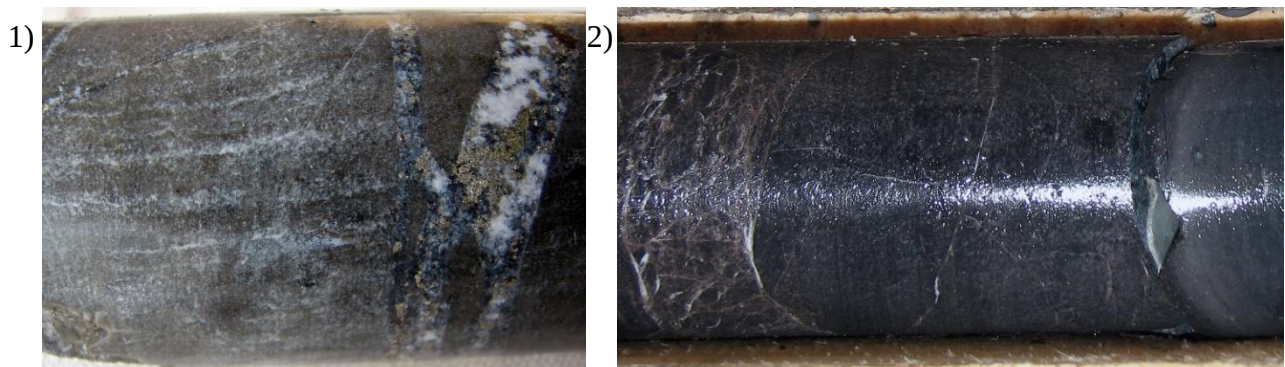


Рис. 2.5. Рудовмещающие объекты рудопроявления Очуногдинское (фото керн), по материалам ООО «Востокгеология», 2013 г.

1 – Березитизированный алевролит с кварц-карбонат-пиритовым прожилком; 2 – Биотитовый роговик по алевролиту.

На юге рудопроявления полого падающие на восток линзовидные рудные тела приурочены к зонам биотитизации алевролитов в экзоконтактах пологих

тел гранодиорит-порфиров. Размеры изометричного в плане оруденелого участка 700x700 м, причём в СЗ направлении рудный блок не оконтурен. Мощность рудных тел от 1,2 до 31 м, содержание меди в отдельных пробах от 0,01 % до 4,71 %, золота от 0,03 до 25,6 г/т. Наибольшее на участке содержание золота 35 г/т, не сопровождающееся медью, встречено в одиночном сечении. Содержание серебра составляет первые г/т, максимальное – 68,6 г/т. Руды бедные и реже рядовые, преобладающие содержания меди составляют первые десятые доли процента, золота – десятые доли г/т.

На севере рудопроявления, охватывающем краевую часть массива гранодиорит-порфиров, в прослоях ороговикованных алевролитов широко развиты биотитизированные породы. Далее к северу фрагменты алевролитов в разрезе гранодиорит-порфиров редки и большее значение приобретает березитизация. Рудные тела в виде многочисленных пологопадающих в восточном направлении лент и линз фиксируются как в биотитизированных алевролитах, так и в березитах. В краевой эндоконтактной зоне массива установлено 7 рудных участков (залежей), расположенных на разных гипсометрических уровнях от поверхности. Размеры наибольшего из них, по удлинению вытянутого в СЗ направлении, 1500x300 м, остальных – от 200x200 м до 200x600 м. Мощность рудных линз от 2 до 14 м. Содержание меди в отдельных пробах изменяется от 0,00п % до 0,7 %, золота – от сотых долей г/т до 12,9 г/т. Содержание серебра обычно составляет первые г/т, максимально до 16,7 г/т. Золото не имеет значимой корреляции с медью и поэтому золотые и медные рудные сечения часто разобщены. Причём наблюдается тенденция к увеличению содержаний золота с глубиной до первых г/т и более, тогда как меднорудные интервалы отмечаются ближе к поверхности и тяготеют к биотитизированным алевролитам.

Вскрытые в канавах руды затронуты процессами окисления: по халькопириту повсеместно развивается малахит. Не выходящие на поверхность рудные тела практически не содержат окисленных форм меди и сульфатной серы.

По данным химанализа отобранных из рудных сечений сорока групповых проб, золото-медное оруденение не сопровождается попутными компонентами.

Содержание цинка в пробах 0,0 п %, свинца – менее 0,02 %, молибдена – менее 0,005 %, кроме одного рудного интервала в березитизированных гранитах, где концентрация Мо достигает 0,031 %. Для существенно медных руд юга участка характерны повышенные содержания мышьяка от 0,3 % до 4,2 %, что подтверждается испытаниями технологической пробы ЛТП ИН 2. Количество мышьяка в рудах северной части составляет сотые доли %, редко достигая 0,26 % [112, 114].

2.4. Вещественный состав рудовмещающих пород и руд

Вещественный состав руд и рудовмещающих пород Култуминского рудного поля изучался в процессе геологической документации, опробовании скважин и горных выработок, при проведении петрографо-минераграфических работ специалистами ООО «Востокгеология» по данным Чернышевой Н.Е., Федоровой А.А. [112; 114], химико-аналитических и технологических исследованиях организациями: ГУП ЛИЦИМС [99; 100], ООО «ЗабНИИ-технология», ОАО «Удоканская медь». При подготовке материалов к данному разделу учтены материалы предшественников [106; 115; 117].

2.4.1. Петрографический состав рудовмещающих пород

В пределах Култуминского рудного поля рудовмещающими являются скарны всех температурных стадий. В большей степени скарны распространены на Култуминском месторождении.

Пироксеновые скарны имеют гранобластовую структуру, текстура массивная, участками такситовая. Минеральный состав довольно простой – главным минералом является моноклинный пироксен диопсид. Размеры зёрен пироксена во многом определены исходной породой, по которой они сформированы. В экзоскарнах выделения пироксена отличаются весьма большой неоднородностью, обусловленной колебанием размеров от 0,01 до 1,0 мм. Крупные зерна обычно образуют скопления в первые миллиметры среди основной мел-

козернистой массы. Вторичные минералы в скарнах колеблется от первых процентов до формирования вторичной породы по пироксеновому скарну.

Амфиболовые, флогопитовые скарны и скарны смешанного состава эпидот-актинолитовые, флогопит-актинолитовые, актинолит-клиноцоизитовые. Амфиболовые скарны – наиболее часто встречаемые скарны. Они образуются в результате замещения пироксеновых скарнов, поэтому пироксен иногда присутствует как реликтовый минерал. Главным минералом является амфибол актинолит-тремолитового ряда. Форма его выделений различна и зависит от размеров зерна. При размере выделений от сотых долей до 0,1 миллиметра актинолит образует микроигльчатые агрегаты. Сноповидные, лучистые формы имеют размер зёрна в 0,2-1,2 мм. Структура породы лепидонематобластовая, гранонематобластовая, нематобластовая. Амфиболовые скарны содержат вкрапленность рудных минералов, которые локализуются в межзерновом пространстве нерудных минералов, редко по их спайности. Кроме амфиболов данные скарны могут содержать флогопит, в количестве от первых процентов до 20 %. Флогопит наблюдается в микропрожилках и прожилках мощностью в первые миллиметры, образует скопления, рассеян в массе актинолитовых зёрен. Размеры отдельных чешуек в этих образованиях от 0,2 до 0,7 мм. При преобладании флогопита, когда его содержание превышает 80 % это уже флогопитовые скарны. Структура таких пород гранолепидобластовая до лепидобластовой. Они часто содержат вкрапленность, иногда весьма обильную, рудных медьсодержащих минералов, располагающихся в самих выделениях флогопита, а также по их периферии.

Серпентин в скарнах наиболее часто наблюдается в лучисто-пластинчатых формах, реже просто пластинчатых, а также в виде микрочешуйчатых масс. Петельчатые, спутанно-волокнистые, длиноволокнистые выделения наблюдаются редко, в целом они не характерны. Размеры отдельных выделений от сотых долей миллиметра до десятых долей.

На Очуногдинском рудопроявление оруденение приурочено биотитизированным породам, которые развиваются по микротрещинам, микролинзам,

образуют микровключения в гранодиорит-порфирах и ороговикованных алевролитах и известково-кремнистых аргиллитах. Размеры этих образований чаще всего колеблются от десятых долей до первых миллиметров, но распределены в породе они довольно равномерно и густо. Редко эти метасоматиты развиваются по локальным тектоническим зонам, и тогда их мощность может достигать десятков сантиметров до первых метров. Состав этих образований зависит от стадийности (зональности) метасоматического процесса, но в них всегда присутствуют биотит, кварц, титанит. Из рудных минералов преобладающим здесь минералом является пирротин и халькопирит. В метасоматитах, формирующихся из растворов в заключительную стадию процесса, рудные минералы представлены иногда халькопиритом и арсенопиритом, которые содержат микровключения самородного золота.

2.4.2. Минеральный состав руд

Вещественный состав руд Култуминского рудного поля отличается большим разнообразием минерального состава первичных руд, которое обусловлено сложностью их формирования. В рудах установлено около 60 рудных (гипогенных и гипергенных) и 30 нерудных минералов – представителей самых различных классов. К числу главных рудообразующих минералов (макроскопически хорошо различимых) принадлежат магнетит, пирит и халькопирит. Основными минералами, определяющими промышленную ценность руды, являются халькопирит и магнетит, редкими – самородное золото и серебро. В составе первичных руд из нерудных минералов присутствуют, главным образом, серпентин, диопсид, тремолит-актинолит, карбонаты и флогопит.

На Култуминском месторождении по основным рудным минералам удастся выделить несколько минеральных разновидностей руд: магнетитовые, пирит-магнетитовые, халькопирит-пирит-магнетитовые и халькопирит-пиритовые; менее распространенные – халькопирит-борнит-магнетитовые, халькопирит-пирит-арсенопиритовые, и полиметаллические (галенит-сфалерит-блеклорудно-халькопиритовые).

На рудопроявлении Очуногдинское получили распространение преимущественно сульфидные руды, представленные следующими минеральными разновидностями: халькопирит-пирротиновые и пирротин-халькопирит-пирит-арсенопиритовые. Руды Очуногдинского рудопроявления принадлежат к пирротин-пирит-халькопирит-арсенопиритовой рудной ассоциации. Эти руды комплексные золото-медные серебросодержащие, малосульфидные (до 5 %). Сульфиды представлены в основном арсенопиритом (1-5 %), пиритом (1-5 %), халькопиритом (до 1 %) и пирротинном (1 % и менее). Ниже приведена характеристика основных минеральных разновидностей руд с описанием наиболее важных и распространенных рудных минералов с точки зрения освоения и переработки руд.

Таблица 2.1. Минеральный состав руд Култуминского рудного поля.

Относительная степень распространения	Минералы		
	Рудные		Нерудные
	гипогенные	гипергенные	
1	2	3	4
Главные	магнетит, пирит, халькопирит	гидроксиды железа, малахит	серпентин, актинолит, биотит, флогопит, карбонаты
Второстепенные	арсенопирит, пирротин, блёклая руда (теннантит - тетраэдрит), марказит	азурит, скородит	гранат, пироксен, клиноцоизит, КППШ, кварц, клинохлор, эпидот, серицит, турмалин, кордиерит
Малораспространённые	молибденит, галенит, сфалерит, висмутин, борнит, гематит, леллингит, маггемит, буланжерит, бурнонит, виттихенит, кобеллит	хризоколла, ярозит, ковеллин, смитсонит, церуссит	тремолит, апатит, каолинит, гидрослюда, титанит, оливин, гумит, тальк, хлорит
Редкие	самородное золото, серебро и висмут, тетрадимит, теллуrowисмутит, энаргит, антимонит, джемсонит, валлериит, графит, петцит, касситерит, людвигит, шеелит, кубанит, ильменит, гессит, ульманит, пентландит,	брошантит, куприт, бедантит, ашадантит, англезит	ортит, андалузит, монтмориллонит

Магнетитовые руды (или магнетитовые и магнетитсодержащие скарны) Култуминского месторождения развиты преимущественно в зонах развития пироксеновых скарнов. Руды состоят из магнетита на 10-60 % и минералов (диопсида, серпентина, реже граната), они слагают среди выделенных рудных тел

неправильные линзо- и гнездообразные тела размером 1-2 м. Содержание железа магнетитового в рудных телах достигает 14-26 %.

Магнетит играет существенную роль в рудах месторождения. Минералогическое изучение взаимоотношений минералов показывает наличие магнетита нескольких генераций. Ранний магнетит – первой генерации, предшествовавший образованию сульфидов, образуется после основных скарновых минералов и преобладает в рудах. Он слагает сплошные массы аллотриоморфнозернистой, нередко гипидиоморфнозернистой структуры с крупностью зерен от 0,03 мм до 0,5-1 мм или же образует вкрапленность различной интенсивности – от редкой до густой. Его агрегаты, как правило, катаклазированы в различной степени. В последующие стадии рудообразования магнетит замещается и корродируется более поздними сульфидами, главным образом, пиритом и халькопиритом, иногда с золотом. Магнетит второй генерации связан с мушкетовитизацией гематита. Мушкетовит развит в рудах незначительно. Он слагает радиально-лучистые агрегаты. О более раннем происхождении мушкетовита по отношению к сульфидам свидетельствуют яркие явления разъедания и замещения его последними. Наряду с магнетитом описанных выше генераций, наблюдается магнетит более позднего образования по отношению к сульфидам, имеющий меньшее количественное значение. Этот магнетит замещает по тонким извилистым прожилкам халькопирит и облекает каймами зерна пирита, интенсивно разъедая и замещая его. В зоне окисления существенных изменений магнетита не наблюдается, здесь он частично замещается по трещинам гематитом, с последующим замещением гидроксидами железа. В рудных телах магнетит образует сплошные, вкрапленные и брекчиевидные текстуры руд. В первом случае это массивная руда, состоящая полностью из магнетита. Вкрапленные руды состоят из магнетита на 10-30 %, который представлен вкрапленностью и гнездовидными скоплениями в магнетитовых скарнах. В случае брекчиевидных руд магнетит как бы цементирует псевдообломки скарнов. Часто магнетит встречается среди скарнов, обогащенных флогопитом, в виде единичных крупных (до 1-2 см в поперечнике) кристаллов [115]. В слабо скарнированных доломитах

магнетит редок и представлен мелкими зернами и кристаллами (до 0,5 мм) октаэдрической формы. Большая часть магнетита находится в сростках и его наибольшее раскрытие 98 % отмечается в классе менее 0,1 мм.

Гематит образуется при окислении магнетита (мартит), а также при разложении скарновых минералов, в основном, пироксена и граната, реже сульфидов. Мартитизацию магнетита следует рассматривать как заключительную стадию гипогенной рудообразующей деятельности, происходившей в обстановке низких температур и повышенного окислительного потенциала. Содержание гематита в руде составляет 0,05-0,52 %.

В магнетитовых рудах спорадически встречаются участки, в которых присутствуют в том или ином количестве борсодержащие минералы – людвигит и ашарит [85; 106]. Борное (людвигит-ашаритовое) оруденение отмечается только в некоторых магнетитовых телах северной части месторождения. В целом боратовая минерализация развита на участке незначительно. Людвигит, по данным предшественников, представлен сноповидными, параллельно-волокнистыми агрегатами среди массы магнетита и нерудных минералов. Размеры его выделений по удлинению колеблются от 0,01 мм до 5-8 мм. По людвигиту развивается ашарит, образуя волокнистые, тонкоигольчатые и бесструктурные массы, которые в ряде случаев впоследствии замещаются серпентином. Отметим, что на дневной поверхности людвигит и ашарит полностью окисляются и превращаются в гидроокислы железа.

Магнетит-сульфидные руды по минеральному составу подразделяются на: халькопирит-магнетитовые и халькопирит-пирит-магнетитовые. Эти руды слагают крупные залежи мощностью до нескольких десятков метров и протяженностью в сотни метров. Сульфиды составляют участками примерно 5-10 % от объема магнетитовых залежей. Наиболее распространенными сульфидами являются пирит и халькопирит, которые зачастую совместно образуют вкрапленность, прожилки, небольшие гнезда. Содержание пирита и халькопирита в некоторых рудных интервалах достигает 10 % и более. В ряде случаев наряду с пиритом возрастает количество арсенопирита.

Халькопирит-пирит-магнетитовые руды являются промышленно значимыми. (рис. 2.6. – 1). Они образуются при наложении на ранние магнетитовые скарны минеральных ассоциаций последующих рудообразующих стадий, главным образом, основной продуктивной – золото-халькопиритовой ассоциации, с которой связано отложение основной массы халькопирита и самородного золота. Наиболее богатые халькопирит-магнетитовые золотосодержащие руды образуются на тех участках рудных тел месторождения, где происходит пространственное совмещение (телескопирование) нескольких (золото-халькопиритовой, полисульфидной и полиметаллической золотосодержащих) минеральных ассоциаций.

Халькопирит (нескольких генераций) является основным медьсодержащим минералом в первичных рудах Култуминского месторождения. Кроме халькопирита в них присутствуют и другие гипогенные минералы меди: блеклые руды (теннантит и тетраэдрит), борнит. Вторичные сульфиды меди представлены халькозином и ковеллином. Распространение этих медьсодержащих минералов в рудах незначительно, концентрации малы. Халькопирит встречается в виде неравномерной вкрапленности, прожилков, пятен и гнезд (до 5-6 см). Характерно, что выделения халькопирита в магнетитовых скарнах массивной текстуры приурочены к межзерновым пространствам, интерстициям и трещинам катаклаза магнетитовых агрегатов, как бы пропитывая их. Некоторые участки рудных тел значительно обогащены халькопиритом (до 10 %).

Выделения халькопирита имеют преимущественно неправильную форму, размеры зерен варьируют от 0,01 мм до 2-3 мм. Халькопирит достаточно хорошо раскрывается уже в классе крупности менее 0,25 мм. Он образует срастания с пиритом, пирротином, блеклой рудой, сфалеритом, галенитом, шеелитом, молибденитом и самородным золотом (рис. 2.6. – 2). В ассоциацию вторичных сульфидов, развивающихся по халькопириту, входят халькозин, ковеллин и борнит. Эта ассоциация в рудах месторождения проявлена слабо. В зоне окисления халькопирит замещается гидроксидами железа в смеси с ковеллином, малахитом, азурином и хризоколлой (малахит-гетитовая ассоциация). Изредка от-

мечается куприт, который, в свою очередь, также замещается азуритом и малахитом.

Пирит встречается в большинстве минеральных типов первичных сульфидно-магнетитовых руд Култуминского месторождения без исключения. Однако, содержание его изменчиво 1-10 %. Пирит является наиболее распространенным минералом из сульфидов. Следует отметить, что выделение пирита происходит на протяжении всего процесса рудообразования (от ранних стадий к поздним). Поэтому он представлен несколькими генерациями. Наиболее распространен средне- и тонкокристаллически-зернистый пирит. Он образует преимущественно вкрапленность (размеры кристаллов и зерен, в основном, 0,2-3 мм, редко до 1 см), кучные скопления, прожилки и гнезда. Агрегаты пирита, как правило, катаклазированы, замещается халькопиритом, реже сфалеритом, галенитом и виттихенитом. В ассоциации с пиритом отмечаются арсенопирит и марказит. В виде включений в пирите наблюдаются пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, висмутин, молибденит, самородное золото и серебро.

Пирит-халькопиритовые руды развиты преимущественно в зонах березитизации. Они сложены рудными минералами золото-халькопиритовой, полисульфидной и полиметаллической ассоциаций. Основными минералами этих руд являются кварц, серицит, пирит, халькопирит и самородное золото; в подчиненном количестве присутствуют арсенопирит, сфалерит, галенит и висмутин. Крайне редко в них отмечаются молибденит и шеелит. Пирит-халькопиритовые руды чаще встречаются на склонах г. Инженерная и правобережье р. Култумушка.

Халькопирит-борнит-магнетитовые руды не получили широкого распространения в пределах месторождения. Они развиты, в основном, в рудных телах северо-восточной части Култуминского месторождения. Эти руды состоят преимущественно из серпентина, флогопита, тремолита, актинолита, карбоната, магнетита, борнита и халькопирита, редким в них является самородное золото. Текстура данных руд, в основном, вкрапленная. В тремолит-актинолитовых агрегатах борнит выполняет интерстиции.

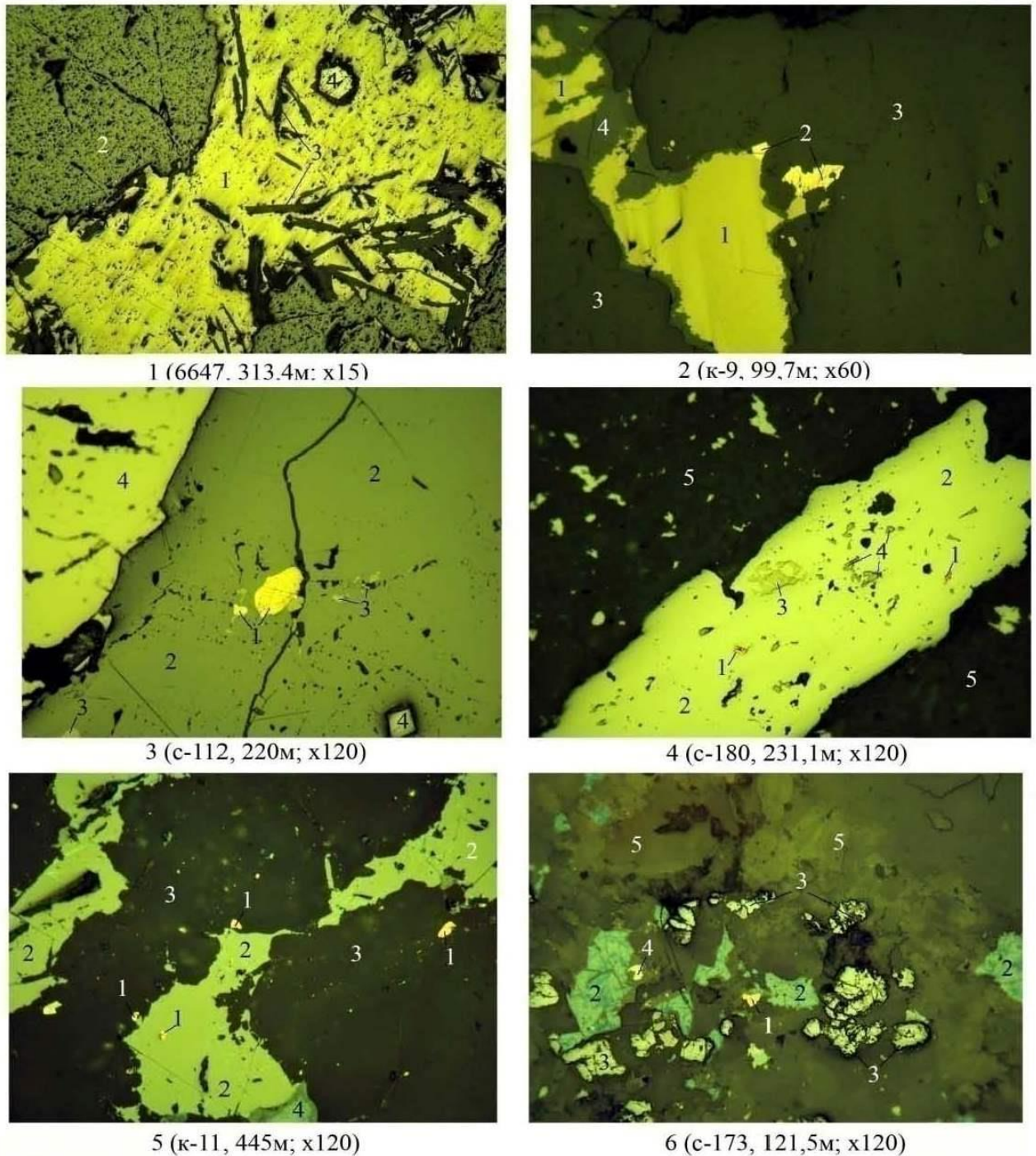


Рис. 2.6. Взаимоотношение и характер сростаний рудных минералов Култуминского рудного поля по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г.

- 1 – халькопирит (1) в сростании с магнетитом (2), флогопитом (3), пиритом (4).
- 2 – халькопирит (1) в сростании с самородным золотом (2) в тремолит-актинолитовом агрегате (3), халькопирит замещается гетитом (4).
- 3 – самородное золото (1) в виде включений в блеклой руде (2), халькопирит (3), пирит (4).
- 4 – самородное золото (1) в виде включений в арсенопирите (2), халькопирит (3) и висмутин (4) в серицит-кварцевом прожилке (5).
- 5 – самородное золото (1) в виде включений в магнетите (2) и актинолите (3), окисленный халькопирит (4) в сростании с магнетитом (2).
- 6 – золото (1) в сростании с агрегатом (2) халькозина и ковеллина, магнетит (3), халькопирит (4) в доломите (5).

Халькопирит и борнит образуют между собой характерные решетчатые, субграфические и пластинчато-решетчатые структуры распада, что свидетельствует о высокой температуре их образования. Размеры халькопирит-борнитовых вкрапленников составляют 0,1-2 мм. В сростании с борнитом наблюдается самородное золото, размеры которого не превышают 0,02 мм. Борнит замещается халькозином (с примесью ковеллина) и гетитом.

Окисленные руды встречаются на верхних горизонтах месторождения, глубина их распространения в разных частях различна. Главные минералы этой ассоциации – азурит и малахит – больших скоплений не образуют, в основном это маломощные прожилки, скопления, примазки и налеты.

Вторичные медные минералы развиваются преимущественно в зонах разрывных нарушений и в непосредственной близости от них, они представлены халькозином, борнитом, купритом и ковеллином. В зоне гипергенеза реже встречаются хризоколла и самородная медь. Для окисленных руд характерными являются колломорфная, корковая, почковидная, порошковая и кавернозная текстуры, а также каемчатая, сетчатая, петельчатая и нитеобразная микротекстуры замещения гипогенных рудных минералов. Широко развиты метаколлоидные структуры: волокнистая, радиально-лучистая и гранобластическая. Концентрически-зональная и скрытокристаллическая метазернистые структуры характерны для агрегатов гидроксидов железа, гипергенного борнита и халькозина, а также других минералов, развивающихся псевдоморфно по пириту, халькопириту, арсенопириту, галениту и сфалериту.

На площади Култуминского рудного поля в водотоках (р. Култумушка и р. Очуногда) широко развиты мелкие и глубокозалегающие россыпи с неокатанным и слабо окатанным золотом (с признаками зоны окисления). Золотоносная россыпь пади Култумушка, расположенная в пределах Култуминского месторождения, отработана. Установлено, что содержание золота в ней являлось наиболее высоким среди других россыпей района (по р. Култумушка на протяжении 4 км добыто 1440 кг металла) [107].

2.5. Последовательность формирования метасоматических образований и руд

Характеристика формирования метасоматических образований и руд приводится по материалам ООО «Востокгеология», по данным Чернышевой Н.Е., Федоровой А.А. [70; 112; 114].

В пределах общего контура Култуминского массива активная метаморфическая и постмагматическая гидротермально-метасоматическая деятельность проявлена в осевой части антиклинорной структуры северо-восточного направления, в которой сосредоточены выходы собственно магматических пород, эксплозивно-гидротермальные брекчии и крупные ксенолиты осадочных пород. Для всех пород этой части характерна интенсивная проработка тепловыми и гидротермальными потоками, которые вызывали сложные преобразования, как в интрузивных породах, так и в осадочной толще и привели к формированию разнотипных вторичных пород.

Источником гидротермальных растворов являлась Култуминская гранитоидная интрузия. Ранним гидротермально-метасоматическим процессом является калишпатизация, отмечаемая в центральной части массива гранитоидных пород (рис. 2.7.). Здесь наблюдаются выходы эксплозивно-гидротермальных брекчий, образовавшихся непосредственно после становления массива, в результате взрыва парообразных растворов, находящихся в надкритическом состоянии. Обломочный материал брекчии представлен гранит-порфирами и гранодиорит-порфирами, а цементом является кварц-калишпатовая аплитовидная масса. Термальное воздействие интрузии, усиленное активным участием пневматолитов, выразилось в контактовом скарнировании известково-доломитовых толщ (месторождение Култуминское) и ороговиковании алевролитов (рудопроявление Очуногдинское) (рис. 2.7.).

Гидротермально-метасоматические изменения пород и связанное с ними продуктивное оруденение на Култуминском месторождении и Очуногдинском рудопроявлении, как предполагается, происходило под воздействием единого щёлочно-кислотного раствора в разных диапазонах температур.

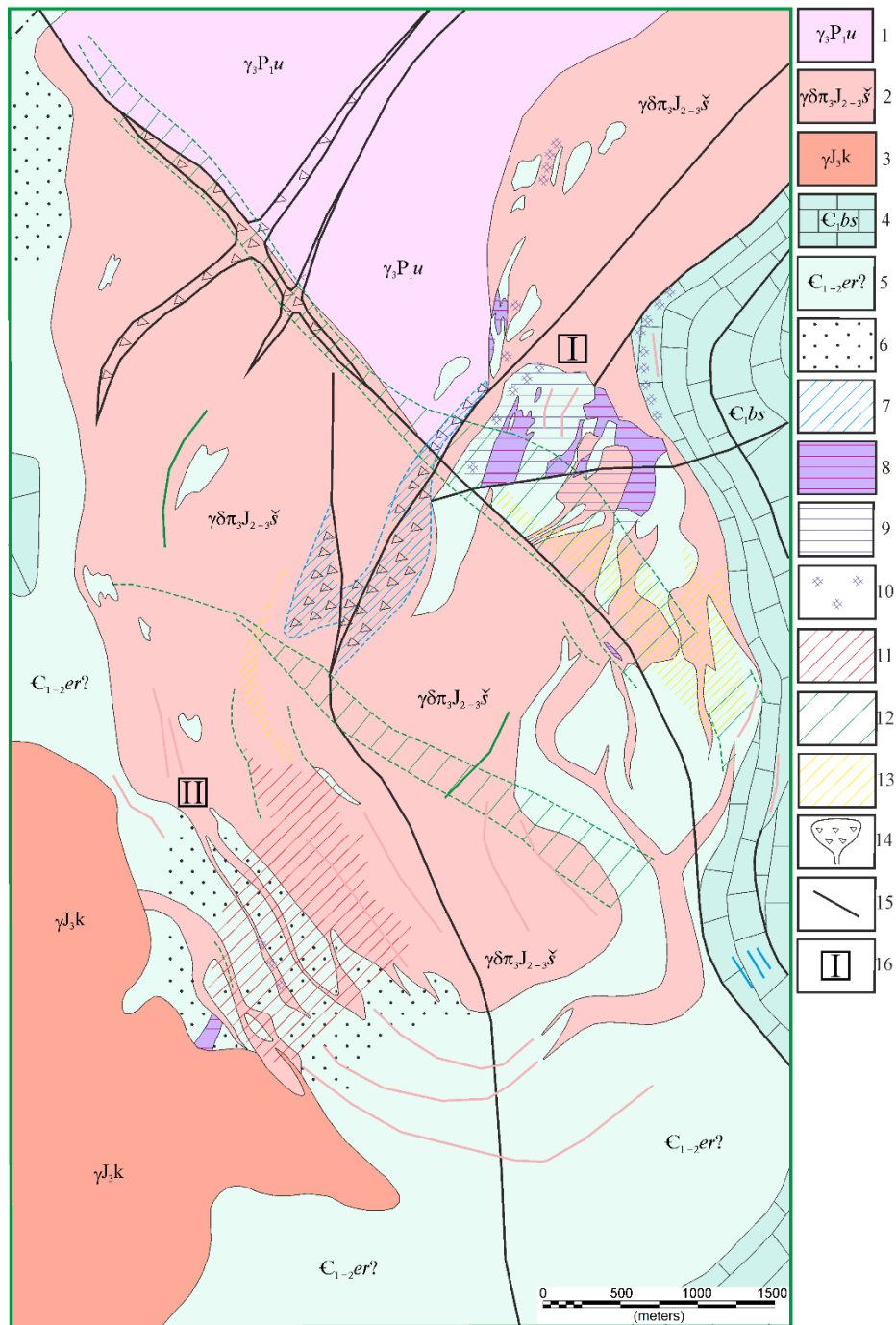


Рис. 2.7. Схема рудно-метасоматической зональности Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В. с использованием материалов ООО «Востокгеология», 2013 г.

1-5 – Геологические подразделения: 1 – ундинский комплекс: граниты биотитовые, граниты лейкократовые; 2 – шахтаминский комплекс: гранодиорит-порфиры, диорит-порфиры; 3 – кукульбейский комплекс: граниты лейкократовые; 4 – осадочные породы быстринской свиты: доломиты, известняки; 5 – осадочные породы ерниченской толщи: песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, доломиты. 6-13 – Гидротермально-метасоматические образования: 6 – ороговикование; 7 – калишпатизированные породы со слабой молибденовой минерализацией; 8 – скарны с магнетитовой и золото-медной минерализацией; 9 – скарны со слабой сульфидной минерализацией; 10 – слабо скарнированные породы; 11 – биотитизация с сульфидной минерализацией; 12 – березиты с полисульфидным и полиметаллическим (с золотом) оруденением; 13 – аргиллизиты гидрослюдисто-каолиновые; 14 – Эксплозивно-гидротермальные брекчии; 15 – тектонические нарушения. 16 – Объекты Култуминского рудного поля: I – Култуминское месторождение, II – Очуногдинское рудопроявление.

Особенно сильно были изменены эндоконтактовые части магматических пород и их экзоконтакты в алевролитах, доломитах и известняках.

Скарны наблюдаются в основном в пределах Култуминского месторождения, эпизодически на Очуногдинском рудопроявлении. Скарнируются преимущественно карбонатные породы. По известково-доломитовым породам образованы гумит-оливиновые и пироксен-гранатовые скарны. В пироксен-гранатовых скарнах присутствуют минералы: актинолит, эпидот, флогопит (рис. 2.8. – 1). Пироксен-гранатовые скарны в агрегатах серпентина содержат вкрапленность халькопирита (рис. 2.8. – 3). В магнезиальных скарнах в агрегате чешуйчатого серпентина часто присутствует магнетит и хлорит (рис. 2.8. – 2). Наиболее широко в рудном поле распространены магнетитовые скарны в которых присутствует серпентин.

Продуктивные изменения в ороговикованных породах связаны с последующими гидротермально-метасоматическими процессами (рис. 2.7.).

Биотитизация пород отмечаются большей частью на Очуногдинском рудопроявлении и фрагментарно в алевролитах Култуминского месторождения. По алевролитам сформированы пятнистые биотит-кордиеритовые роговики (рис. 2.8. – 4). Биотитизация характерна и для эндоконтактовых частей гранодиорит-порфиров (рис. 2.8. – 5). В составе биотитизированных пород присутствует: биотит, кварц, турмалин, альбит, калиевый полевой шпат, титанит. Биотитизированные породы содержат вкрапленность рудных минералов.

Более поздние гидротермальные процессы, наблюдаемые в пределах Култуминского массива, приурочены в основном к разрывным нарушениям северо-западного направления. По этим зонам распространены процессы серицитизации и березитизации исходных пород. Характер и уровень изменения напрямую зависит от степени их дробления. В тектонических зонах с интенсивным катаклизмом, под влиянием гидротермальных растворов образовывались березиты. В пределах Култуминского рудного поля наиболее мощные зоны березитизации отмечаются в южной части Култуминского месторождения.

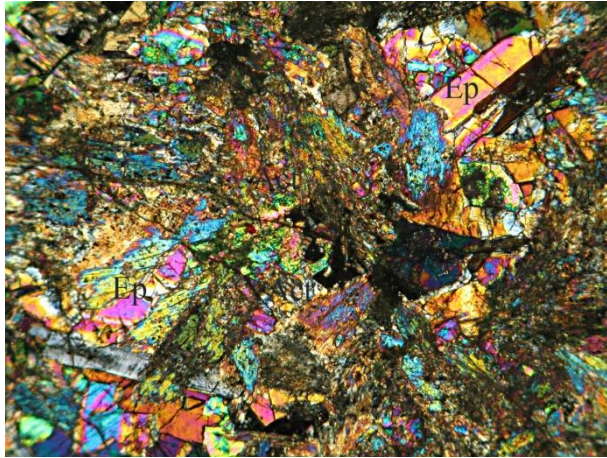
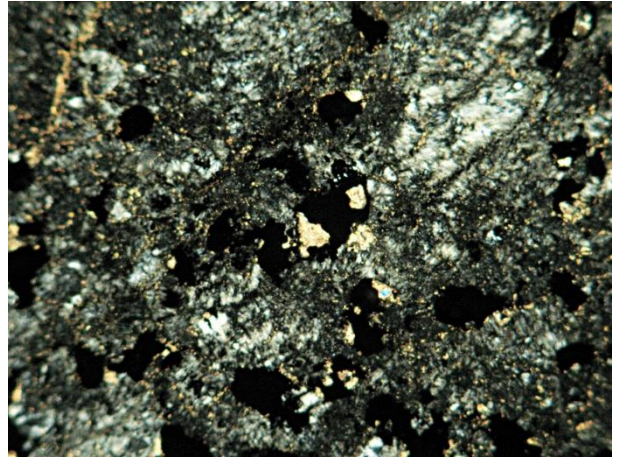
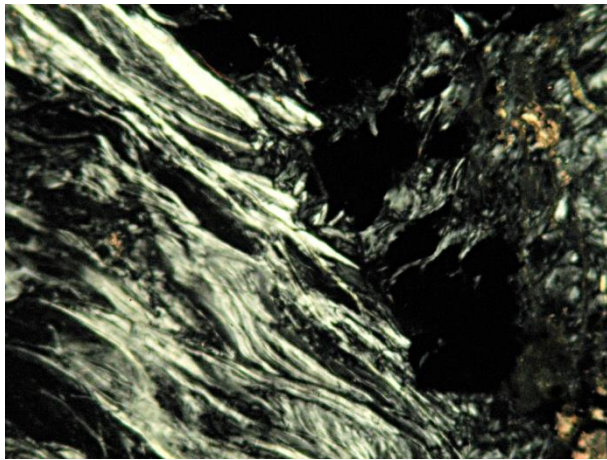
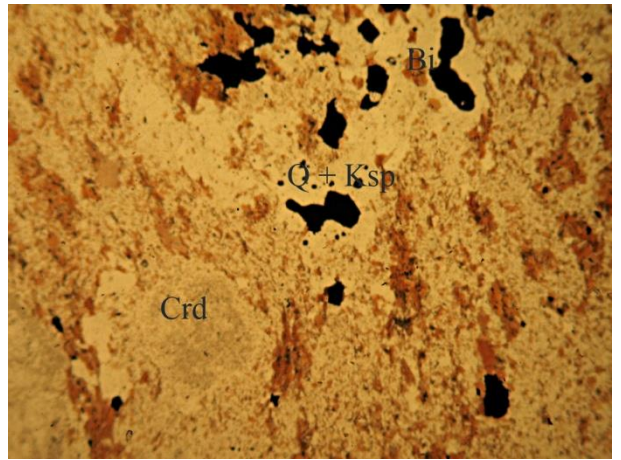
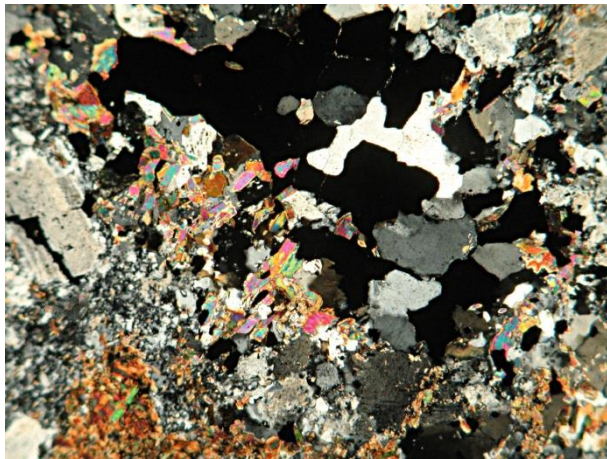
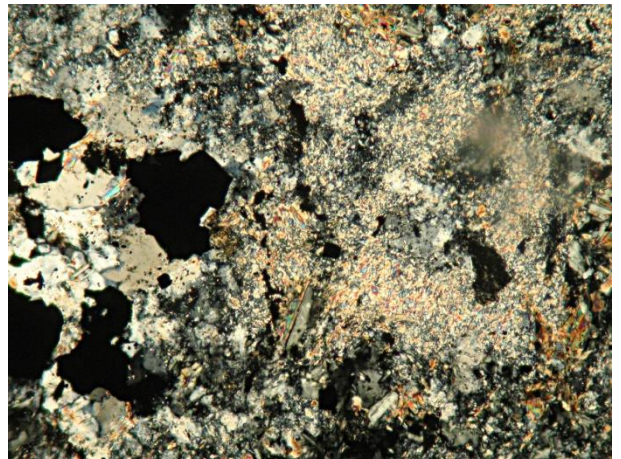
1 (к-6, 325 м; ник +, $\times 30$)2 (к-6, 1263 м; ник +, $\times 30$)3 (к-6, 1373 м; ник +, $\times 60$)4 (с-252, 173 м; ник //, $\times 15$)5 (с-205, 28,1 м; ник +, $\times 30$)6 (с-181, 295,4 м; ник +, $\times 60$)

Рис. 2.8. Основные типы рудоносных метасоматитов Култуминского рудного поля по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г.

1 – эпидот-актинолитовый агрегат в пироксен-гранатовом скальне; 2 – магнетит в агрегате серпентина в магнезиальном скальне; 3 – вкрапленность халькопирита в агрегате серпентина в пироксен-гранатовом скальне; 4 – биотит-кордиеритовый роговик; 5 – биотитизированный гранодиорит-порфир; 6 – березит.

В березитах присутствует кварц, турмалин, хлорит, серицит, пирит и другие рудные минералы (рис. 2.8. – 6). Карбонат в березитах может присутствовать, но чаще отсутствует. Процесс березитизации сопровождался отложением медного и золотого оруденения в кварцевых прожилках.

По наиболее поздним зонам трещиноватости проявлена аргиллизация. Процесс аргиллизации является пострудным и не несёт продуктивного оруденения, но он часто идёт по уже минерализованным другими процессами зонам и поэтому в процессе аргиллизации возможно переотложение ранее образованных рудных компонентов (рис. 2.7.). Минералогически аргиллизация пород проявляется в замещении полевых шпатов и слюдистых минералов гидрослюдами и глинистыми минералами. Большую роль играют карбонаты и кварц, которые развиваются на массу породы и образуют густую сеть прожилков.

По данным петрографо-минераграфических исследований Н.Е. Чернышовой и Федоровой А.А. (ООО «Востокгеология»), процесс формирования рудной минерализации на Култуминском рудном поле происходил в условиях постепенного снижения температуры, незначительного уменьшения роли железа, серы и увеличения меди [114].

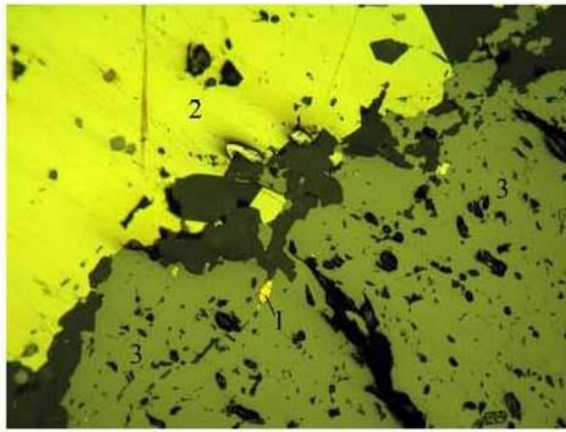
Формирование золото-медно-железорудной минерализации, приведшей к рудообразованию, отличается полистадийностью и имеет сложный характер. Образование магнетитового оруденения происходило непосредственно после образования скарновых минералов (оливина, пироксена, граната) и продолжалось вплоть до начала последующих стадий процесса скарнообразования с эпидотом и актинолитом. Понижение температуры, как правило, вызывает ослабление подвижности железа и приводит к массовому накоплению магнетита, вследствие чего образуются магнетитсодержащие скарны, сложенные почти мономинеральными магнетитовыми рудами массивной текстуры. Так, отмечаются собственно магнетитовые залежи и линзы мощностью до первых десятков метров и протяженностью до 80 м. С магнетитовой минерализацией связано и борное (людвигит-ашаритовое) оруденение, которое слабо выражено и проявлено локально в пределах северной части Култуминского месторождения.

Предполагается, что с понижением температуры железо становится совершенно инертным, а в числе подвижных элементов появляются сера и медь. Взаимодействуя с ранее выделившимися соединениями железа, они формируют скопления халькопирита. Вследствие этого сульфидные минералы по времени образования являются более поздними по отношению к магнетиту, т.е. на магнетитовое оруденение повсеместно наложена сульфидная минерализация преимущественно в виде вкрапленности и прожилков, реже встречаются мелкие гнезда.

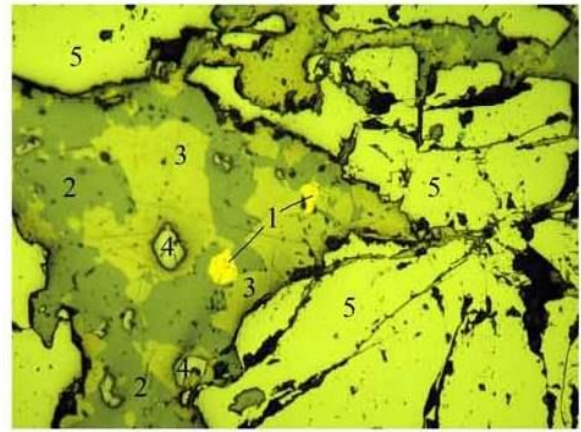
Золоторудная минерализация, пространственно ассоциируется с разными типами пород – актинолит-флогопитовыми скарнами с наложенным сульфидным оруденением, березитами, жилами и прожилками кварц-карбонат-сульфидного состава. В целом, золото ассоциирует практически со всеми рудными парагенезисами постскарнового гидротермального процесса. Изменение физико-химических условий формирования оруденения сказывается на изменении пробности золота, форм его выделения, а также составе элементов-примесей.

На основании изучения структурно-текстурных особенностей руд и их вещественного состава на Култуминском месторождении выделяются следующие парагенетические минеральные ассоциации (стадий – от ранних к поздним):

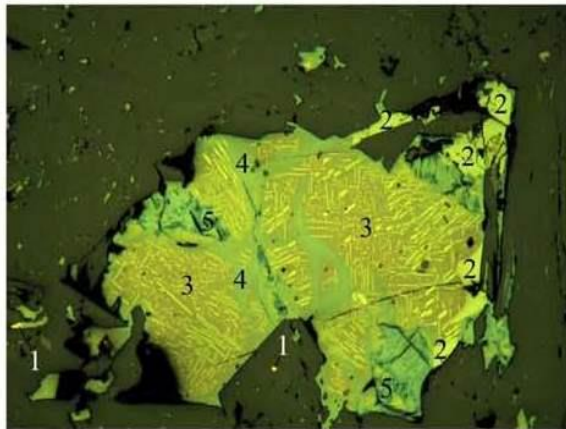
- 1) (шеелит)-молибденит-калишпат-кварцевая;
- 2) серпентин-пироксен-магнетитовая;
- 3) флогопит-актинолит-(борнит)-(пирротин)-халькопиритовая золотосодержащая (CrI, AuI);
- 4) кварц-арсенопирит-пиритовая золотосодержащая (AuII);
- 5) кварц-(висмутин)-халькопиритовая золотосодержащая (CrII, AuIII);
- 6) серицит-кварц-полиметаллическая серебро-золотосодержащая (с сульфосолями свинца, меди и серебра; CrIII, AuIV),
- 7) пирит-марказит-карбонатная.



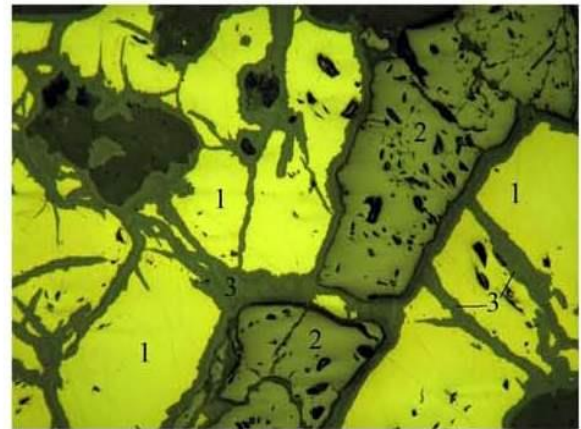
1 (6647, 313,4м; x120)



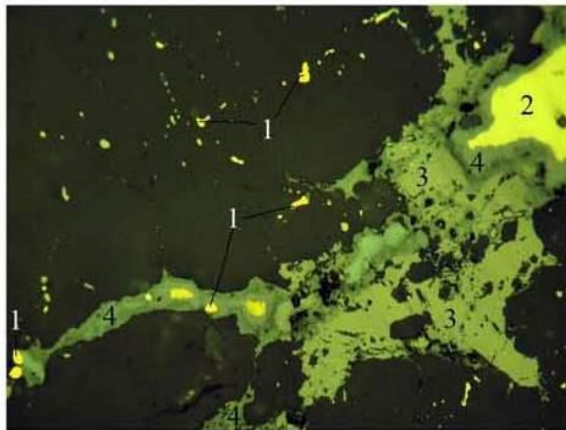
2 (с-112, 220м; x120)



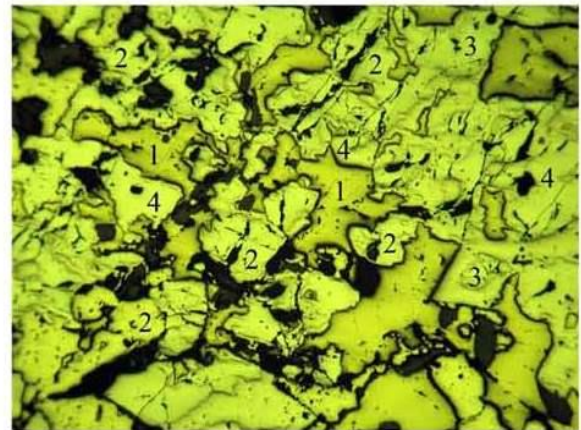
3 (с-182, 80м; x60)



4 (опытный карьер; x60)



5 (к-11, 445м; x120)



6 (с-258, 41м; x30)

Рис. 2.9. Основные рудообразующие минеральные ассоциации Култуминского рудного поля по материалам ООО «Востокгеология», 2008 г.

- 1 – Култуминское месторождение: золото (1)-халькопирит (2)-магнетитовая (3).
 2 – Култуминское месторождение: золото (1)-блеклорудно (2)-халькопиритовая (3) и арсенопирит (4)-пиритовая (5). 3 – Култуминское месторождение: золото (1)-халькопирит (2)-борнитовая (3) и халькозин (4)-ковеллиновая (5). 4 – Култуминское месторождение: халькопирит (1)-магнетитовая (2), халькопирит замещается гетитом (3).
 5 – Култуминское месторождение: золото (1)- халькопирит (2)-магнетитовая (3), гидроксид железа (4) с примесью халькозина и ковеллина. 6 – Очуногдинское рудопроявление: халькопирит (1)-пирит (2)-леллингит (3)-арсенопиритовая (4).

Выделенные минеральные ассоциации перечислены в порядке предполагаемой возрастной последовательности их образования. Пирит, халькопирит и самородное золото образуют несколько генераций. Руды Култуминского месторождения сформировались в результате последовательного отложения вышеперечисленных минеральных ассоциаций, среди которых наиболее продуктивными являются флогопит-актинолит-(борнит)-(пирротин)-халькопиритовая и кварц-(висмутин)-халькопиритовая золотосодержащая (рис. 2.9. – 1, 2, 3, 4, 5). При пространственном совмещении большинства минеральных ассоциаций образуются богатые железо-медные золотосодержащие руды.

Главными минералами руд Култуминского месторождения являются магнетит, пирит и халькопирит, второстепенными – пирротин, арсенопирит, блеклая руда, сфалерит и галенит. Реже и в незначительных количествах встречаются борнит, висмутин, тетрадимит, сульфосоли свинца, меди и висмута, молибденит, самородное золото, серебро и висмут. Вторичные сульфиды: халькозин, борнит и ковеллин, типичные для зоны вторичного сульфидного обогащения, отмечаются крайне редко. Процесс гипергенного преобразования приводит к появлению в зоне окисления преимущественно малахит-магнетитовых и азурит-малахит образований с гидроксидом железа, в составе которых встречаются иногда хризоколл, брошантит и самородная медь.

На Култуминском рудном поле выделяются три основные минеральные разновидности первичных руд: магнетит-сульфидные (преимущественно халькопирит-пирит-магнетитовые), сульфидные (халькопирит-пиритовые) и мало-сульфидные (сульфидов до 5 %) (халькопирит-пирит-арсенопиритовые). Окисленные разновидности первичных руд: малахит-магнетитовые и азурит-малахитовые с гидроксидом железа.

Самородное золото в рудах месторождения связано с сульфидами, преимущественно с халькопиритом, реже с блеклой рудой, сфалеритом, галенитом, висмутином и пирротином. Оно встречается также в нерудной массе (актинолите, кварце). По результатам корреляционного анализа групповых проб, проведенного ООО «Востокгеология», а также данным предшественников на Кул-

туминском месторождении имеется отчетливая связь золота с медью (коэффициент корреляции между этими металлами равен +0,72) [117].

Четкого рисунка рудно-метасоматической зональности в рудных телах Култуминского рудного поля не наблюдается. На распределение медного и золотого оруденения в скарнах и вмещающих их породах основное влияние оказали тектонические подвижки, которые подготовили пути миграции рудообразующих растворов. На тех участках, где после скарнообразования тектонические подвижки не проявились вновь, скарны и магнетитовые тела (линзы) оказались без наложенного медного и золотого оруденения. Отмечено, что магнетитовые тела тяготеют преимущественно к скарнам, а сульфидная минерализация концентрируется преимущественно в краевых частях выше упомянутых тел.

Из выше изложенного следует, что процесс формирования золото-медно-железного (магнетитового) и золото-медного оруденения происходил в результате последовательного отложения ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций, подчиняясь общей эволюции рудно-магматической системы.

ВЫВОДЫ

1. Модель рудно-метасоматической зональности наглядно отображает закономерность образования и размещения скарнового оруденения на Култуминском рудном поле, не исключая совмещенный скарновый и медно-порфировый тип оруденения (предполагается только в пределах Очуногдинского рудопроявления). Последний тип еще в 1987 г, выделялся академиком В.А. Жариковым [13; 14;].

2. Скарновые образования с наложенной золото-медносульфидной минерализацией указывают на то, что размещение их предопределялось приуроченностью к тектонически ослабленным зонам. Руды сформировались в результате последовательного отложения ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций.

3. Руды Култуминского месторождения являются комплексными (медь, железо, золото и серебро) и относятся к одному промышленному железо-медному золотосеребросодержащему скарновому типу. В пределах рудопроявления Очуногдинское получило распространение золото-медное оруденение. Руды принадлежат к одной природной минеральной разновидности – пирротин-пирит-халькопирит-арсенопиритовой и являются малосульфидными (сульфидов до 5 %).

4. По минеральному составу выделяются три разновидности первичных руд: магнетит-сульфидная (халькопирит-пирит-магнетитовая золотосодержащие руда), сульфидная (халькопирит-пиритовая золотосодержащая руда) и малосульфидная (халькопирит-пирит-арсенопиритовый золотосодержащая), составляющие большинство рудных тел.

5. Текстура руд месторождений преимущественно вкрапленная, прожилково- и гнездово-вкрапленная, реже – массивная. Содержание сульфидов в рудных телах широко варьирует, достигая в отдельных участках 5-10 %. В рудах высокая корреляционная зависимость золота и меди +0,72.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ РАЗВЕДКИ

3.1. Методология обработки и интерпретации геофизических исследований

В настоящее время, благодаря работам ООО «Востокгеология» на Култуминском рудном поле, при участии автора, создана современная геофизическая основа для обработки и интерпретации, включающая данные электроразведки, магниторазведки, гравиразведки и геофизических исследований скважин.

При проведении гравиразведочных и магниторазведочных работ в пределах Култуминского рудного поля исследователи убедились в эффективности решения таких задач как геологическое картирование, выявление и изучение рудоносных складчатых структур, рудоконтролирующих структурных элементов, обнаружение и прослеживание рудоконтролирующих и рудовмещающих тектонических нарушений [1; 2; 8; 12]. В комплексе гравиразведка и магниторазведка успешно применялись в качестве прямого поискового метода магнетитовых скарнов и скарнированных разновидностей пород.

Таким образом, потенциальные геофизические поля, прежде всего, гравитационное и магнитное заняли особое место в исследовании Култуминского рудного поля. Важной особенностью потенциальных полей является их интегральный характер и возможность отражать размещение на различных глубинах объектов, обладающих аномальными свойствами. Эта особенность является одной из причин неоднозначности при интерпретации данных гравиметрии и магнитометрии. При этом интегральная природа потенциальных полей позволяет разделить их на составляющие, характеризующие распределение эффективной плотности и магнитной восприимчивости на определенных глубинных уровнях [30; 37].

Изучение геолого-структурной позиции и закономерностей локализации потенциально рудных объектов Култуминского рудного поля подразумевает исследование его глубинного строения. Геологическое строение рудного поля

на глубоких горизонтах до 2 и более км практически не изучено и не раскрыто в полной мере. Большинство пробуренных геологоразведочных скважин не более 300 м, поэтому глубинные исследования считаются весьма актуальными.

С целью исследования геолого-структурной позиции и закономерностей локализации потенциально рудных объектов Култуминского рудного поля, автором проведена трехмерная интерпретация гравитационных и магнитных аномалий с последующим их геологическим истолкованием.

Методика обработки геофизических исследований. Данная методика обработки и интерпретации гравитационных и магнитных полей апробирована автором на трех скарновых и одном медно-порфировом месторождениях Юго-Восточного Забайкалья и в большинстве случаев имела положительный результат. Тема диссертации предполагает, что основное внимание должно быть уделено геологии и оруденению, поэтому методические основы интерпретации геофизических данных изложены кратко.

Физические основы интерпретации гравитационных и магнитных полей заключаются в том, что они обладают аддитивными свойствами, т.е. получаются в результате суммирования влияния плотностных и магнитных неоднородностей, находящихся на различных глубинах и различных расстояниях от области, в которой они рассматриваются [27; 28].

Трансформация полей. На первом этапе обработки произведена подготовка аномалий к геологической интерпретации методом преобразования поля или трансформации (преобразование грида наблюденного поля в его трансформанту). Основная цель трансформации гравитационных и магнитных аномалий заключается в наиболее полном разделении исходного наблюденного поля на составляющие, каждая из которых отвечает источникам разной геологической природы, залегающих на разных глубинах с различными физическими свойствами [51].

Трансформации гравитационного и магнитного поля проведены средствами Geosoft Oasis Montaj в программном модуле двумерной обработки данных потенциальных полей в частотной области Magmap Filtering [84]. Для раз-

деления регионального/остаточного грави- и магнитного поля на основе частотной фильтрации применен фильтр Гаусса. При трансформации гравитационного и магнитного поля параметры фильтра подбирались визуально (волновое число 200, стандартное отклонение 0,25). Региональная составляющая характеризуется фильтром низких частот, а локальная или остаточная аномалия фильтром высоких. Помимо, фильтрации аномалий производилось вычисление высших производных основанное на дифференцировании функции потенциала гравитационного или магнитного поля по направлениям трех координатных осей (XYZ). Вычисление производных выполнялось в Geosoft Oasis Montaj (модуле Euler3D).

Вертикальная производная гравитационного поля позволяет выделять аномалии слабо проявленных (приповерхностных) геологических объектов, усилить локализацию эффектов от неглубоко залегающих объектов. Производные горизонтального и вертикального градиента позволяют маркировать такие элементы геологического строения как разломы, контакты крупных интрузивных массивов, картировать стратиграфические границы пород.

Инверсия данных по методу наименьших квадратов на основе grid файла. В настоящее время существует ряд программ, позволяющих производить двумерную и трехмерную интерпретацию в автоматическом режиме. Наиболее простой алгоритм инверсии гравиметрических данных реализован в пакете программ ZondMag2d и ZondMag3d.

Инверсия данных по методу наименьших квадратов выполнена средствами Zondmag (2D-3D). Программы позволяют производить двумерную и трехмерную интерпретацию гравиразведки и магниторазведки в автоматическом режиме [17; 18].

В программе реализованы алгоритмы решения прямой и обратной задачи грави- и магнитометрии, основанные на двумерной инверсии данных по методу наименьших квадратов с применением различных фильтров. Для решения обратной задачи (инверсии) используются различные варианты деконволюцион-

ных методов и метод Ньютона с фокусирующей регуляризацией. Инверсия гравитационных и магнитных данных проходит по следующему алгоритму:

$$A^T W^T W A + \mu C^T R C \Delta m = A^T W^T \Delta f + \mu C^T R C m$$

где A – матрица частных производных измеренных значений по параметрам разреза (Якобиан), C – сглаживающий оператор, W – матрица относительных погрешностей измерений, m – вектор параметров разреза, μ – регуляризующий параметр, Δf – вектор невязок между наблюдаемыми и рассчитанными значениями, R – фокусирующий оператор.

При интерпретации уровень нормального магнитного поля принят 58800 нТл, магнитное склонение $-10,5^\circ$, магнитное наклонение $69,8^\circ$. Средняя плотность вмещающих пород $2,73 \text{ т/м}^3$ [114].

Основные параметры при интерпретации выбраны согласно геологической изученности, уровня геофизического поля и опыта интерпретатора. При инверсии максимальная глубина нижнего слоя выбрана 2500 м, что практически всегда удовлетворяет исследователей, при изучении глубинного строения рудных месторождений [10; 55]. Результатом интерпретации является трехмерная матрица, которая содержит координаты точки (X, Y), высоту (Z), магнитную восприимчивость, эффективную избыточную плотность. После экспорта матрица сохраняется в базу данных. Графический аппарат оформления моделей в ZondMag2d и ZondMag3d неинформативно демонстрирует результаты трехмерной инверсии, поэтому для дальнейшей обработки данные экспортируются в Geosoft Oasis Montaj. Для последующей интерпретации результатов инверсии, построения «модели структуры» и оформления данных, полученная избыточная плотность суммирована с плотностью вмещающих пород. Оформление результатов интерпретации выполнено средствами Geosoft Oasis Montaj [84].

В качестве примера (рис. 3.1.; рис. 3.2.) представлены результаты двумерной интерпретации гравиразведки и магниторазведки по профилю, проходящему вкrest аномалиеобразующего объекта.

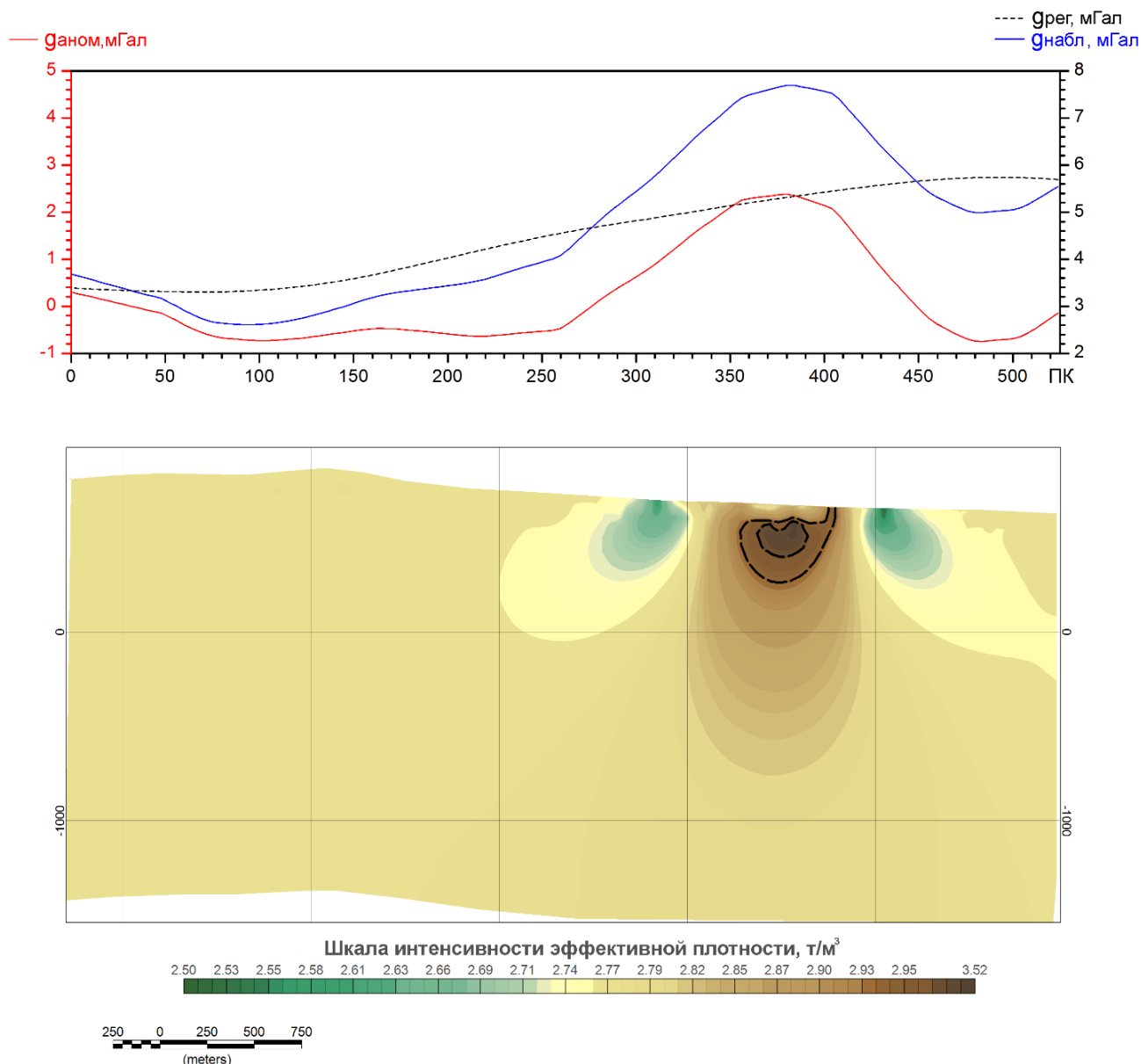


Рис. 3.1. Схема двумерной интерпретации гравиразведки по профилю (уровень поля условный), проходящему вкостр аномалиеобразующего объекта. Составил Груздев Р.В., 2015 г. Пунктиром выделен предполагаемый контур аномалиеобразующего объекта на основе интерпретации гравитационных полей.

По результатам двумерной интерпретации (рис. 2.1.; рис. 2.2) аномалиеобразующий объект представленный телом магнетитовых скарнов отчетливо выделяется повышенными значениями (аномальными) в магнитном и гравитационном полях. Что еще раз демонстрирует эффективность применения грави- и магнитных полей при локализации перспективных аномалий, связанных со скарновыми объектами, в первую очередь, с высоким содержанием магнетита.

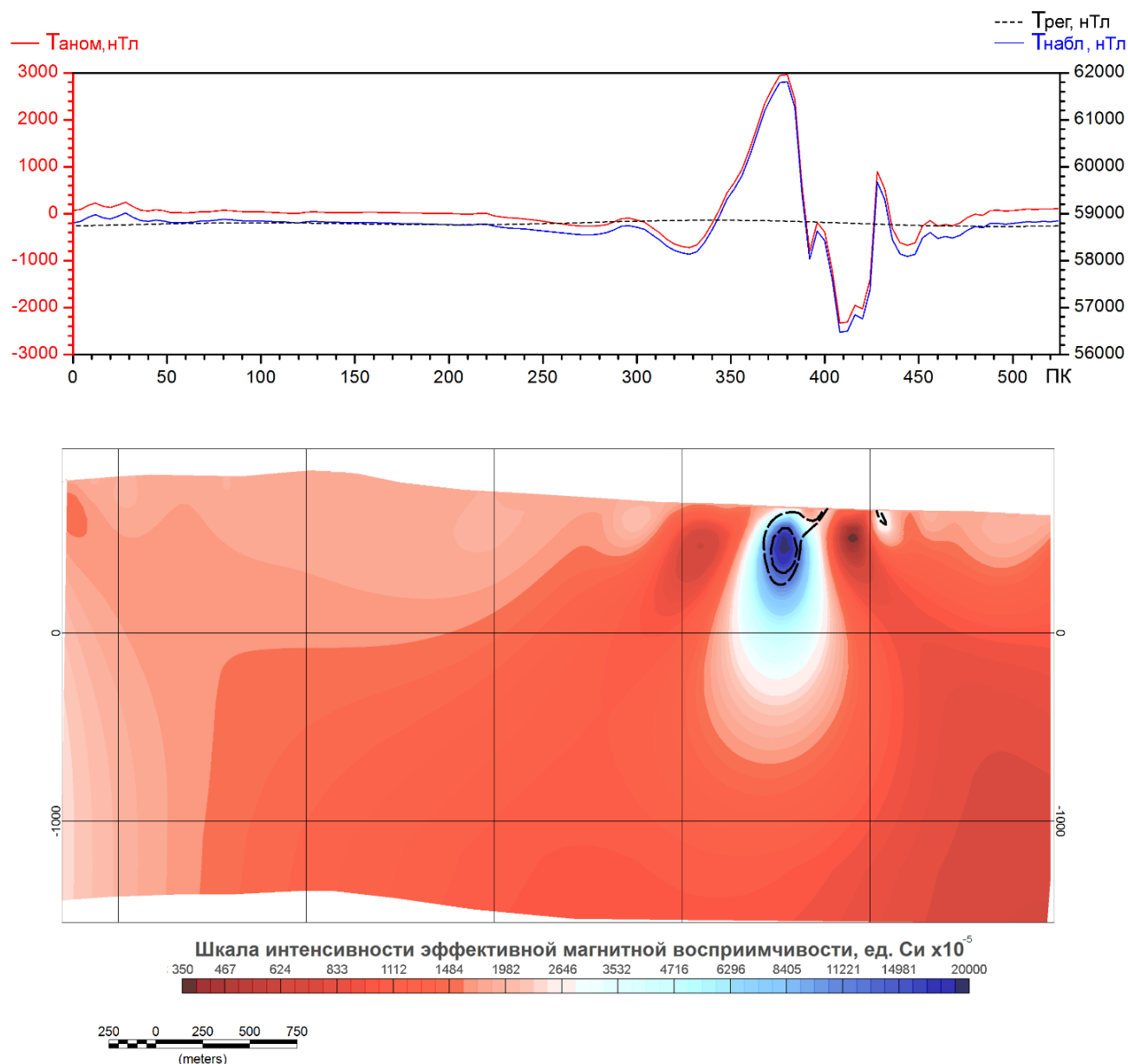


Рис. 3.2. Схема двумерной интерпретации магниторазведки по профилю, проходящему вкрест аномалиеобразующего объекта. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Пунктиром выделен предполагаемый контур аномалиеобразующего объекта на основе интерпретации магнитных полей.

3.2. Построение объемной модели интерпретации гравитационных и магнитных полей

Построение трехмерных геолого-геофизических моделей в настоящее время стало востребованной процедурой в рамках общего процесса разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Несмотря на богатейшие традиции геологической науки России, построение трехмерных геологических моделей месторождений является в нашей стране относительно молодым

направлением, которое возникло около 20 лет назад и успешно развивается. Исторически сложилось, что большинство геолого-геофизических моделей разрабатывались именно для нефтяных и газовых месторождений и гораздо реже для рудных объектов [53; 58].

Процесс моделирования имеет множество плюсов, заключающихся в первую очередь в том, что он может применяться на любой стадии геологоразведочных работ, начиная с этапа поисков и заканчивая эксплуатацией месторождения. Немаловажна высокая эффективность использования объемных цифровых моделей. Обусловлена она тем, что эти модели, кроме хорошей наглядности и информативности, имеют большой прогностический потенциал, позволяя дать прогноз уже на первых стадиях геологоразведочных работ. Однако, любое моделирование характеризуется осреднением входных физических параметров, что в какой-то мере идеализирует или упрощает геологическую среду, создавая более благоприятные условия для проведения расчетов. Таким образом, уже на первом этапе моделирования происходит отход от реально существующей геологической обстановки к осредненной упрощенной модели среды, что может сказаться на результатах прогноза [44; 45].

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 [29]. 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 форма-

лизованное представление об основных геологических и геофизических характеристиках изучаемого объекта.

В Забайкалье основой минерально-сырьевой базы служат месторождения рудных полезных ископаемых. В процесс моделирования должны быть положены принципы и методология построения трехмерных геолого-геофизических моделей для рудных месторождений [59]. К сожалению, моделирование в этой области до сих пор не имеет четкого алгоритма и жестких правил построения. Впрочем, отсутствие единой методики моделирования вполне объяснимо, так как любое месторождение уникально по своим геолого-геофизическим критериям и прочим признакам.

На Култуминском рудном поле трехмерное моделирование выполнено в программе Geosoft Oasis Montaj. На первом этапе моделирования в Oasis Montaj, согласно общим правилам построения трехмерных моделей, для анализа и пространственной корреляции данных рассчитана вариограмма. По закону распределения функции выбран размер ячейки и задан эллипсоид анизотропии. Размер ячейки в плане по осям XY – 40 м, на глубину или по вертикальной оси Z – 20 м.

На втором этапе, на основе базы данных, производится построение объемной модели интерпретации «модель свойств» (в Geosoft воксельная модель). Функция учета региональной составляющей (фона) позволяет перейти от условных параметров физических свойств объекта (эффективных параметров) к приближенным значениям плотности и магнитной восприимчивости. Благодаря опции, топографическая поверхность модели построена с учетом рельефа местности. На схемах (рис. 3.3.; рис. 3.4.) продемонстрированы результаты трехмерного моделирования в пределах контура Култуминского рудного поля на основе данных интерпретации гравитационных и магнитных полей [50; 57].

Построенные трехмерные модели обладают высокой информативностью. В режиме редактирования средствами Oasis Montaj возможно получать разрезы в заданном направлении, срезы по интересующему горизонту, а также строить изоповерхности физического параметра модели.

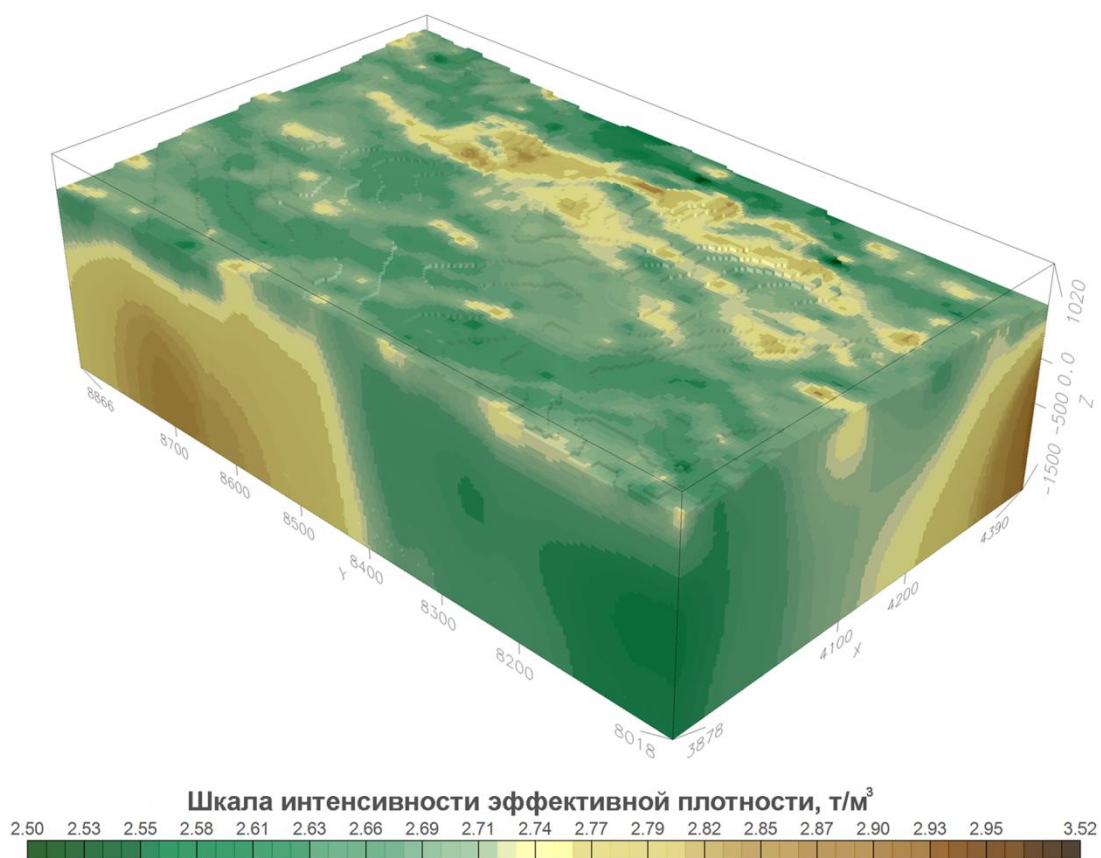


Рис. 3.3. Схема трехмерной модели распределения эффективной плотности на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

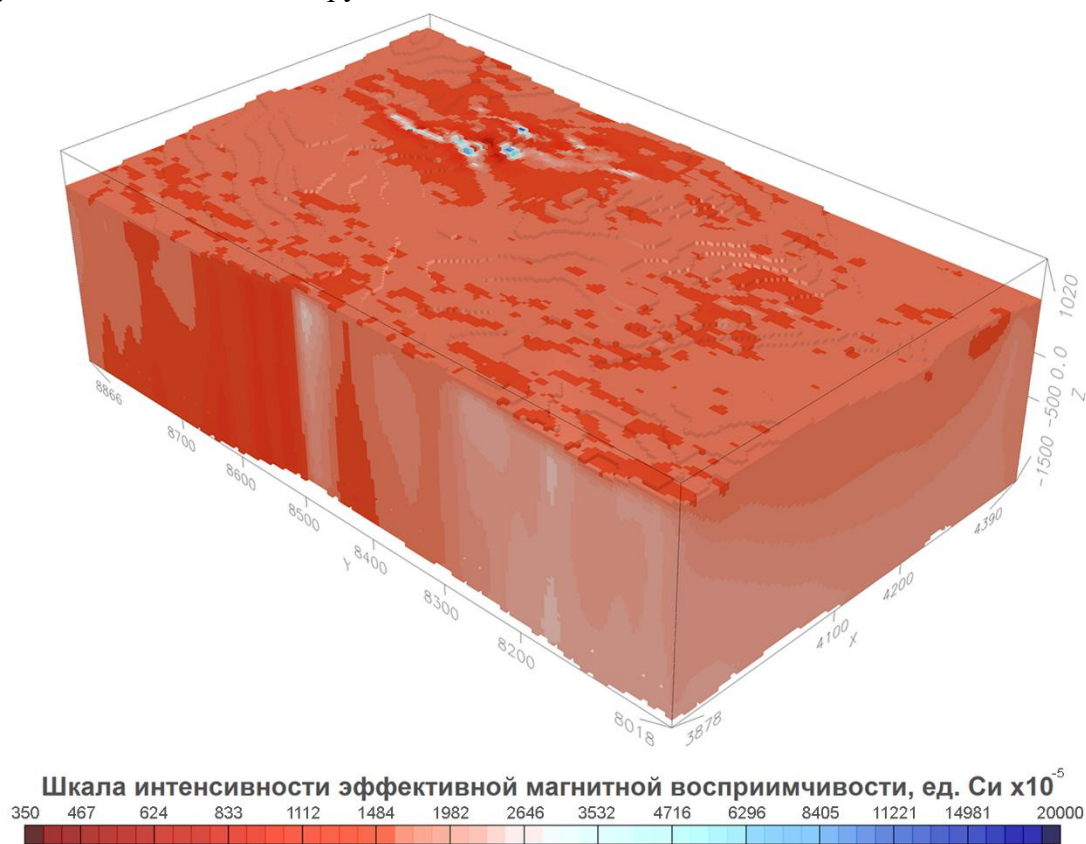


Рис. 3.4. Схема трехмерной модели распределения эффективной магнитной восприимчивости на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Для скарнов и скарнированных пород Култуминского рудного поля характерны высокие значения магнитной восприимчивости более $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и плотности от $2,90 \text{ т/м}^3$ и более (табл. 1.1.). 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, выделенного в пределах Култуминского рудного поля (рис. 3.5.; рис. 3.6.).

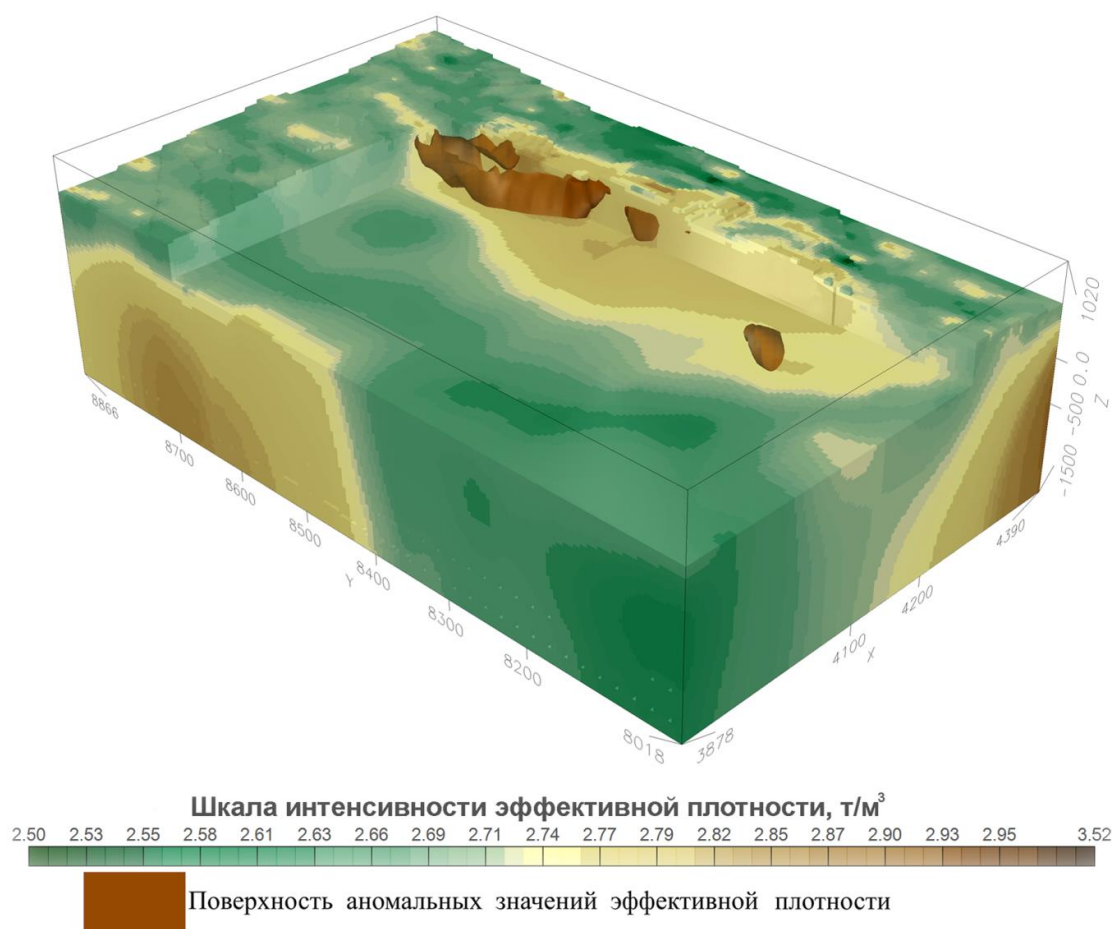


Рис. 3.5. Схема трехмерной модели распределения эффективной плотности с вынесенной аномальной изоповерхностью предполагаемого скарнового объекта на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Разработка моделей изоповерхностей (Isosurface) избыточной эффективной плотности и эффективной магнитной восприимчивости является важным этапом в процессе оконтуривания аномалиеобразующих объектов. По выделенным контурам изоповерхностей оцениваются основные параметры объекта

(форма, размеры, элементы залегания, амплитуды аномальных эффективных значений).

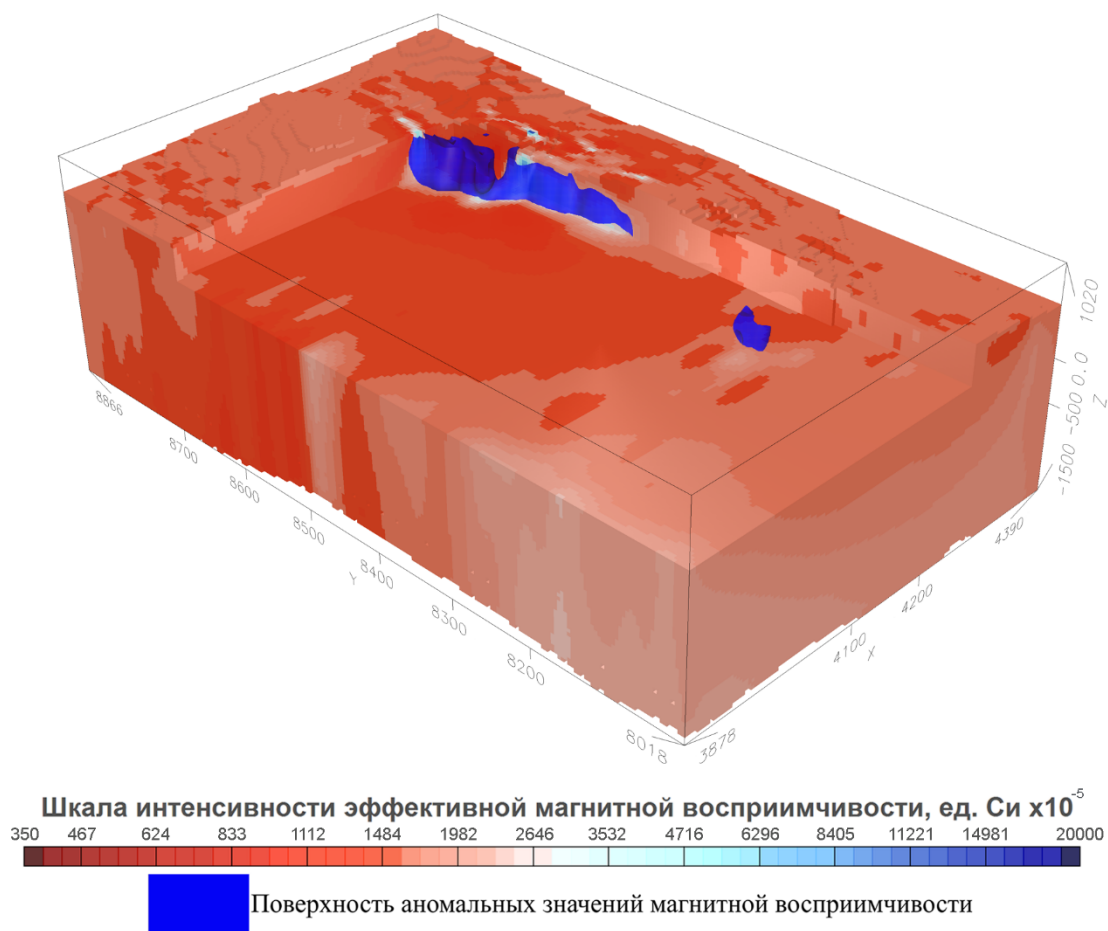


Рис. 3.6. Схема трехмерной модели распределения эффективной магнитной восприимчивости с вынесенной аномальной изоповерхностью предполагаемого скарнового объекта на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Для сопоставления результатов интерпретации грави- и магнитных полей выделенные аномальные изоповерхности эффективной плотности и магнитной восприимчивости совмещены в одной модели (рис. 3.7.). Очевидно, что по результатам интерпретации и моделирования выделен контур аномалиеобразующего объекта, который соответствует скарновому золото-железо-медному Култуминскому месторождению. В пределах Очуногдинского рудопроявления (в южной части модели) выделяется небольшой аномальный объект, предположительно представленный магнетитовыми скарнами.

Границы аномальных изоповерхностей не всегда совпадают, но большая часть взаимных пересечений позволяет утверждать, что такой подход к интер-

претации гравитационных и магнитных полей может иметь место в современной обработке геофизических данных [29; 46; 64]. Следует отметить, что нижняя граница обобщенного аномалиеобразующего объекта находится на глубине около 850 м от поверхности земли, что позволяет утверждать о распространение комплексного скарнового оруденения до этой интерпретируемой глубины.

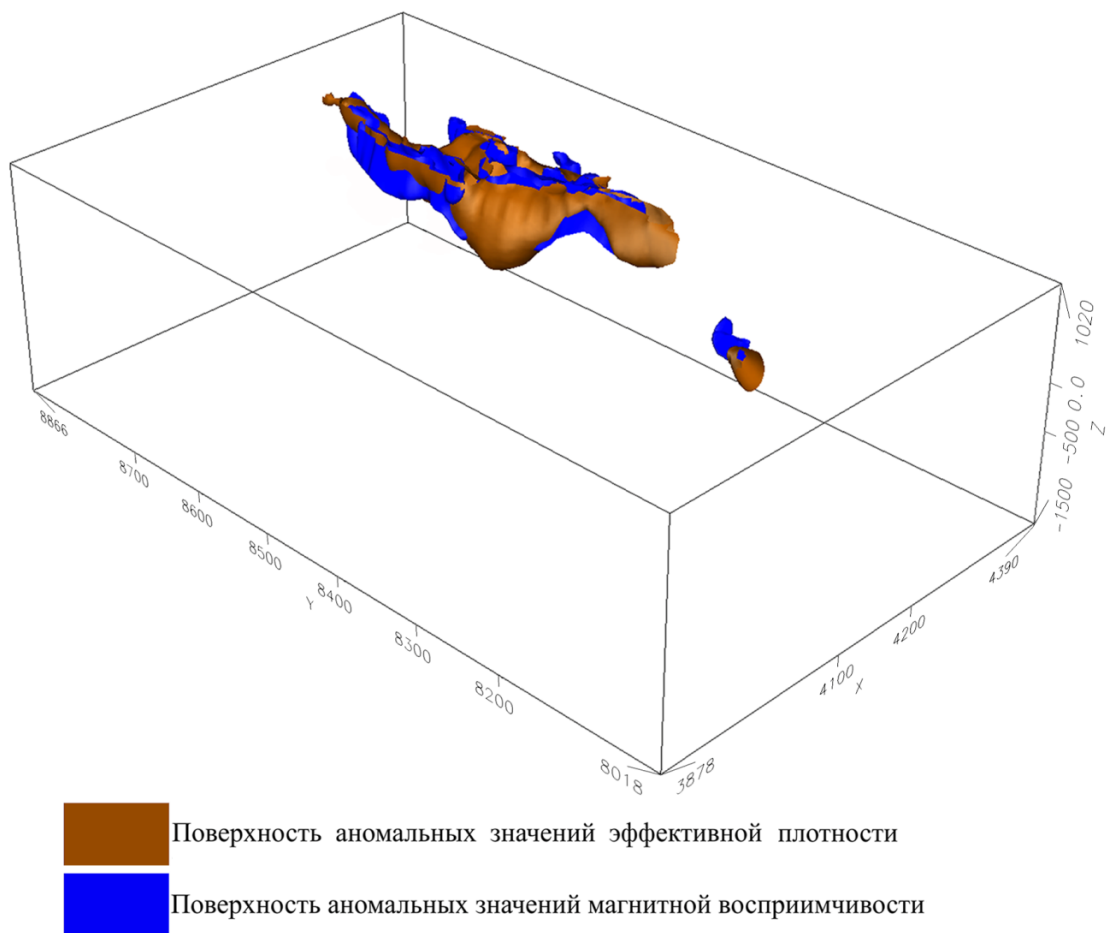


Рис. 3.7. Схема трехмерной модели аномальных значений эффективной плотности и магнитной восприимчивости предполагаемого скарнового объекта на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Рассмотренная методика интерпретации достаточно наглядно демонстрирует распределение аномалиеобразующих объектов на Култуминском рудном поле и открывает широкие возможности для дальнейшего истолкования природы аномалий.

3.3. Построение трехмерной геолого-геофизической модели

Трехмерные модели интерпретации наглядно отображают распределение плотностных неоднородностей и объектов с аномальной магнитной восприимчивостью, что открывает широкие возможности дальнейшего истолкования природы аномальных объектов. Однако необходимо помнить, что результаты моделирования могут быть крайне неоднозначны и отличаться от реально существующей геологической обстановки. Данный этап обработки считается наиболее ответственной стадией моделирования, так как полученные модели интерпретации необходимо наделить геологическим описанием, а также определить природу аномальных объектов.

Подход к моделированию зависит не только от генезиса месторождения, его морфологических признаков, но и от стадии геологоразведочных работ. Разделение моделей, в зависимости от этапов и стадий геологоразведочных работ, является наиболее принципиальным, так как каждый этап подразумевает более детальное построение и коррекцию модели, благодаря появлению новой достоверной информации [61; 68].

В процессе создания геологической модели привлекается большое количество информации об объекте моделирования, что позволяет обобщить и формализовать основные структурные элементы, приблизившись к упрощенной модели интерпретации геологической среды [83]. Полагаясь на известные физические свойства пород и руд (плотность и магнитная восприимчивость), слагающих Култуминское рудное поле, «модель свойств» можно разделить на структурно-вещественные комплексы и наделить ее геологическим содержанием [11; 65]. В (табл. 1.1.) приведены физические свойства пород и руд слагающих Култуминское рудное поле. Эти параметры будут приняты как отправные при моделировании объемной геолого-геофизической модели среды.

Благодаря взаимной корреляции физических свойств и параметров объектов, сопоставления выделенных аномалий с геологической картой, удастся получить геолого-геофизическую модель интерпретации, которая наглядно де-

монстрирует геологическую обстановку на Култуминском рудном поле (рис. 3.8.).

Несомненно, что плюсов в цифровом моделировании геологических объектов гораздо больше, чем минусов, и даже весьма схематичная и недостаточно информационно обоснованная геолого-геофизическая модель дает в руки исследователю качественно иное отображение всей совокупности привлеченной для ее создания информации.

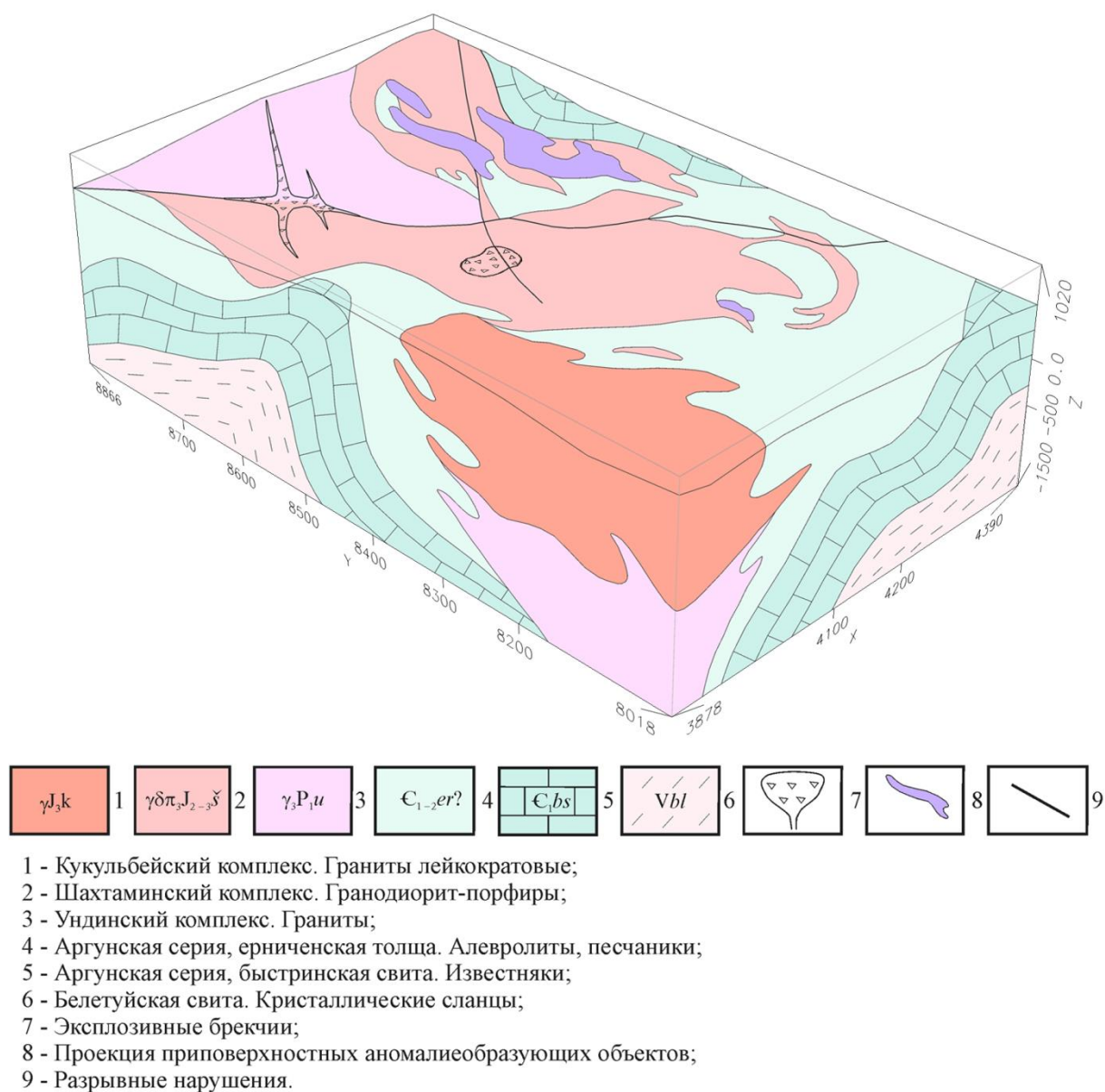


Рис. 3.8. Схема трехмерной геолого-геофизической модели по данным интерпретации гравитационных и магнитных полей на Култуминском рудном поле. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

По результатам геолого-геофизического моделирования (рис. 3.8.) наглядно демонстрируется положение и локализация рудоносной Култуминской интрузии в рудном поле. На модели конструктивно выражено слоисто-складчатое строение вмещающей рамы, представленной синклинальной структурой, между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали. В ядерной части синклинальной структуры локализована Култуминская интрузия, прорывающая гранитоиды ундинского комплекса. В плане Култуминский массив занимает около 19 км² и выклинивается на глубине не более 2 км. Гранодиорит-порфиры шахтаминского комплекса образуют лополитообразное тело, конформное в верхних частях разреза со слоисто-складчатой 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 скарновое золото-железо-медное оруденение.

Таким образом, трехмерное геолого-геофизическое моделирование отражает не только геологическое строение территории, но и в некоторой мере позволяет представить наиболее вероятную геолого-генетическую последовательность развития Култуминского рудного поля.

В отечественной литературе геологическое моделирование рудных месторождений как отдельное направление развивается стремительно большими шагами, поэтому любое исследование в данной области, несомненно, является актуальным.

ВЫВОДЫ

1. На Култуминском рудном поле автором впервые проведена комплексная трехмерная интерпретация гравитационных и магнитных аномалий, которая позволила по-новому взглянуть на глубинное строение рудного поля.

2. На основе интерпретации и моделирования гравитационных и магнитных полей выявлено, что рудоносная Култуминская интрузия локализована в ядерной части синклинальной структуры между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали.

3. По результатам выполненной трехмерной интерпретации грави- и магнитных данных выявлено, что Култуминский массив имеет форму не штока или силла, а лополита который в плане занимает около 19 кв. км и выклинивается на глубине не более 2 км.

4. По данным интерпретации до глубины не менее 850 м выделенные аномалиеобразующие объекты на Култуминском рудном поле имеют обобщенный контур аномальных значений магнитной восприимчивости и эффективной избыточной плотности, являются скарновыми, что подтверждается их физическими свойствами (см. табл. 1.1.), а не порфировыми, как предполагалось предшественниками. Порфировое оруденение, как будет показано ниже (глава 4.), предположительно, будет развиваться на глубоких горизонтах (в корневых частях Култуминской интрузии).

5. Рассмотренный вариант интерпретации носит, зачастую, нетривиальный характер, однако полученные результаты свидетельствуют о том, что такой подход к интерпретации гравитационных и магнитных полей может иметь место в современной обработке геофизических данных.

ГЛАВА 4. РУДНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КУЛТУМИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

4.1. Геолого-генетическая модель Култуминской рудно-магматической системы

На основе имеющейся геологической и геофизической информации построен авторский вариант модели рудно-магматической системы Култуминского рудного поля (рис. 4.1.).

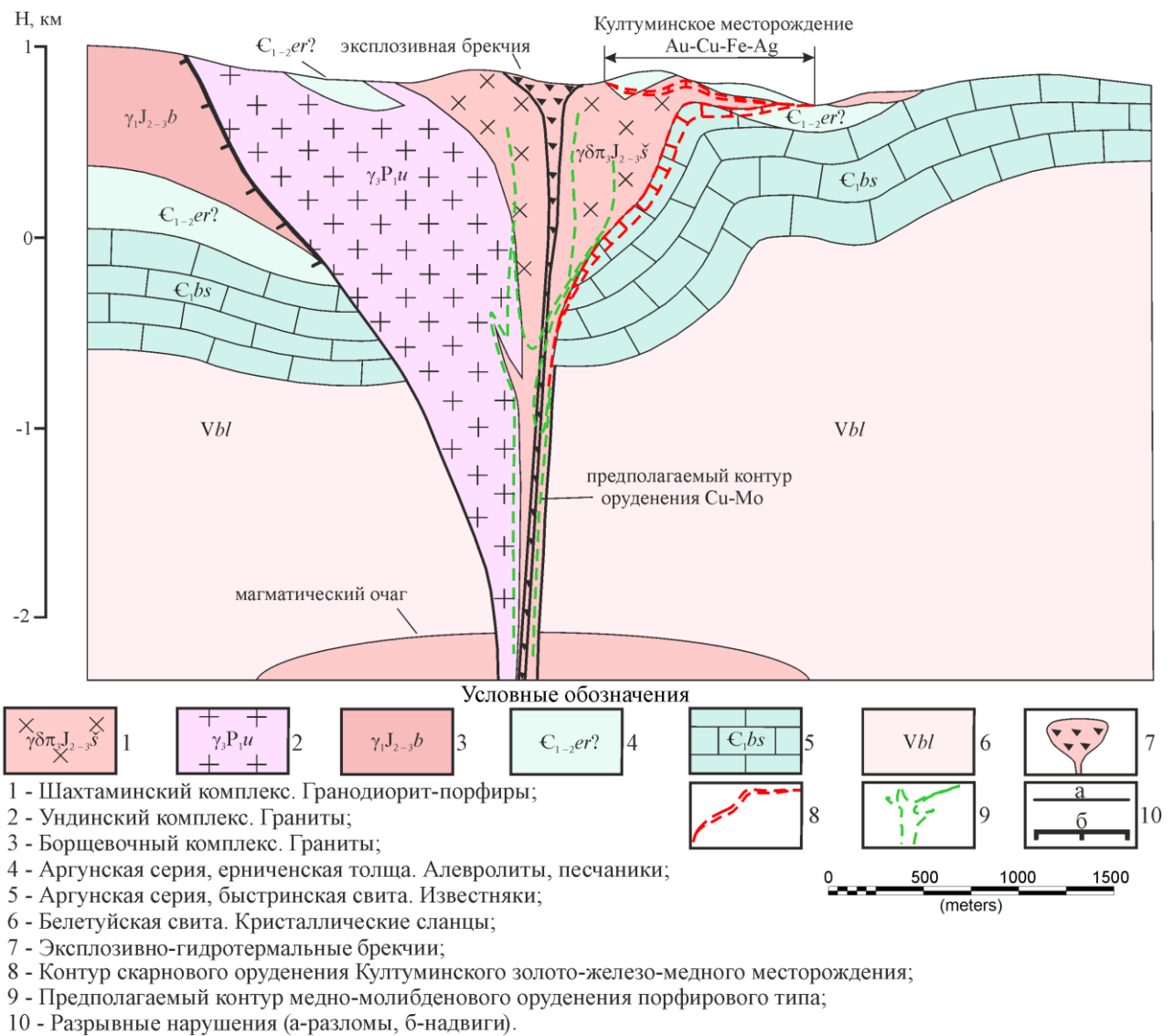


Рис. 4.1. Схема модели рудно-магматической системы Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2014 г.

Геолого-генетическая модель Култуминского рудного поля представлена совокупностью разновозрастных и различных по составу магматических образований, стратифицированных метаморфических и осадочных пород. В разработанной модели совмещены два промышленных типа оруденения: скарновое железо-медное золотосеребросодержащее и предполагаемое медно-порфировое с золотом. Обоснованием медно-порфировой системы служит присутствие целого ряда характерных признаков. Для сопоставления перечислим основные геологические признаки медно-порфировых систем по Кривцову [24; 25]:

1) штоки, штокообразные и неправильной формы тела, серии тесно сближенных и сливающихся даек порфировых пород, завершающие становление интрузивных комплексов продуктивных вулканоплутонических ассоциаций;

2) трубчатые тела и валунчатые дайки, сложенные брекчиями интрузивных пород, включая и порфировые разности;

3) зоны прожилково-штокверкового окварцевания с сульфидной вкрапленностью либо «медной зеленью» и гидроокислами железа;

4) штокообразные и крупные жиловидные монокварцевые тела;

5) комплекс гидротермально-метасоматических изменений (калишпатизация, биотитизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация), в зональном размещении;

6) проявления турмалинизации, огипсования, ангидритизации, цеолитизации, в сочетании с другими типами изменений;

7) поля рассеянной пиритизации;

8) проявления рудной минерализации (молибденовой, медной, медно-мышьяковой, медно-свинцово-цинковой, свинцово-цинковой с серебром, магнетитовой и гематитовой).

Ни один из указанных признаков, взятый изолированно, не является определяющим. Решающее значение имеет сочетание комплекса признаков, прежде всего тех из них, которые отражают элементы рудно-метасоматической зональности на фоне интрузивных составляющих медно-порфировых систем [31].

Таким образом, в Култуминском рудном поле помимо типичного скарнового Култуминского месторождения, предполагается выделение медно-порфирового оруденения, но только в пределах Очуногдинского проявления (на флангах и глубине) на основании следующих признаков:

- 1) гранодиорит-порфиры; серии даек лампрофиров и долеритов прорывающие гранитоиды шахтаминского комплекса;
- 2) эксплозивные брекчии;
- 3) зоны прожилково-вкрапленной рудной минерализации;
- 4) зональное размещение гидротермально-метасоматических изменений (калишпитизированные породы, скарны, биотитолиты, а затем по поздним разрывным зонам березиты и аргиллизиты);
- 5) зональное проявление рудной минерализации

$$\text{Mo} \rightarrow \text{Cu} + \text{Au} \rightarrow \text{Ag} + \text{Pb} + \text{Zn}.$$

Отсюда следует, что скарновый и предполагаемый медно-порфировый типы оруденения в генетическом плане, предположительно, могут составлять единую длительно развивающуюся скарново-медно-порфировую систему. Подобные еще в 1987 г. были подробно рассмотрены академиком В.А. Жариковым [13; 14]. Аналогичные рудно-магматические системы в сочетании скарнового и медно-порфирового типов оруденения (совмещенный тип) присутствуют в идеализированных моделях медно-порфировых систем по Р.Х. Силлитое [82].

Характеристика модели. Култуминское месторождение расположено в зоне эндогенной активности и приурочено к пересечению крупных региональных разломов в пределах Култума-Ушумунской антиклинали. В центральной части модели расположена Култуминская рудоносная интрузия, прорывающая гранитоиды ундинского комплекса. Култуминский массив имеет чашеобразную форму, приурочен к синклинальной структуре и представляет собой лополит. В плане он занимает около 19 кв. км, выклиниваясь на глубине не более 2 км. Эти предположения подтверждаются авторской интерпретацией геофизических исследований и буровыми работами ООО «Востокгеология» (рис. 4.2.).

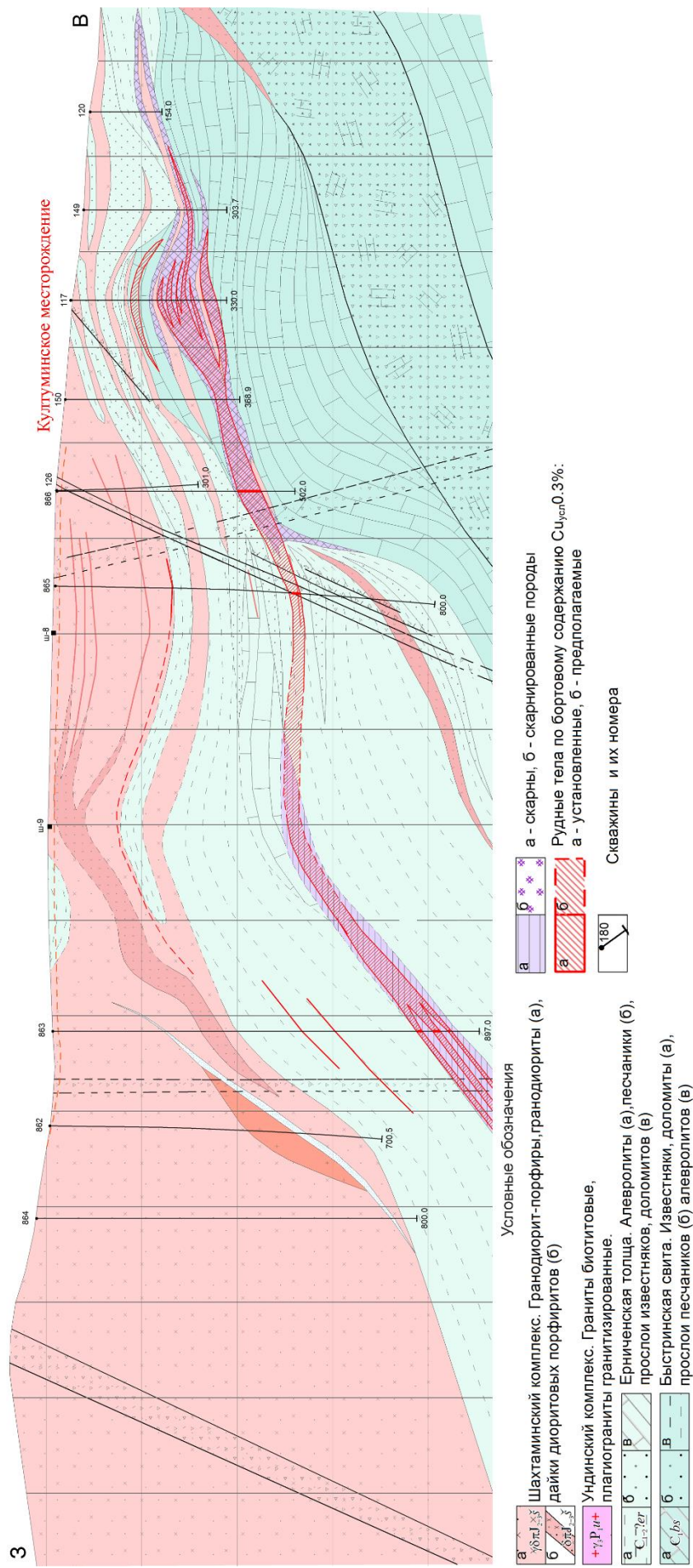


Рис. 4.2. Схематический геологический разрез по линии, пересекающей Култуминское месторождение, направление ЗВ по материалам А.Х. Шафикова, ООО «Востокгеология», 2013 г.

Массив осложнен интенсивной трещиноватостью, проработан гидротермальными растворами и неоднократными прорывами газов, что и привело к образованию диатрем и брекчий. Тело брекчий имеет воронкообразную форму и является важной составной частью месторождения, объединяя все объекты рудного поля в одну крупную рудоносную магматическую систему.

Как показано на модели (рис. 4.1.), гранодиорит-порфиры шахтаминского интрузивного комплекса образуют лополитообразное тело, конформное в верхних частях разреза со слоисто-складчатой структурой вмещающей рамы, сложенной породами быстринской свиты и ерниченской толщи.

На контакте пород быстринской свиты (известняки) и ерниченской толщи (алевролиты) с Култуминским массивом гранодиорит-порфиров развивается скарновое золото-железо-медное оруденение. Последнее наглядно изображено на схеме (рис. 4.2.), что еще раз на Култуминском месторождении доказывает скарновый тип оруденения. Контур предполагаемого медно-порфирового оруденения размещен на глубине к поверхности выходят только маломощные минерализованные зоны с прожилково-вкрапленными текстурами и пирит-халькопиритовым с золотом составом руд.

Процесс формирования метасоматитов с сопровождающим золото-медно-железным оруденением Култуминского рудного поля имел длительное развитие и протекал по единой схеме, подчиняясь общей эволюции рудно-магматической системы в условиях постепенного снижения температуры, незначительного уменьшения роли железа, серы и увеличения меди. Существенное влияние на распределение медного и золотого оруденения в скарнах и вмещающих их породах оказала до – и внутриминерализационная тектоника, которая подготовила как пути циркуляции гидротерм, так и места локализации руд. На тех участках, где после раннего контактово-метасоматического минералообразования тектонические подвижки не проявились вновь, скарны и магнетитовые тела (линзы) не содержат наложенного медного и золотого оруденения.

4.1.1. Критерии обоснования модели рудно-магматической системы

Геодинамика и разломы. Современная геологическая структура площади создана в процессе длительной эволюции при неоднократной смене геодинамических режимов. Положение глубинных разломов играет ключевую роль при размещении, контроле и эксгумации магматических интрузивных образований [9; 23]. Гранитоидный магматизм перми, сменяющийся внедрением шахтаминских гранодиорит-порфиров юры, составляет единую долгоживущую рудно-магматическую систему, в которой шахтаминский магматизм является рудоносным, именно с ним ассоциируется скарновый тип оруденения. Корневая часть Култуминской интрузии приурочена к синклинали между двумя ветвями Култума-Ушумунской антиклинали в условиях динамического растяжения и повышенной проницаемости для постмагматических рудных растворов. Характер внедрения от средней до малой глубины. Магматический очаг настолько проработан, что большая часть оруденения была вынесена и сконцентрирована близ поверхности, что и привело к формированию известного оруденения. Рудное поле в современном рельефе имеет кольцевую структуру, ограниченную водоразделами рек Очуногда, Бурукагуча, Яромай и Газимур.

Латерально-геохимическая зональность. Геохимическая зональность не всегда выдержана. К центральной части интрузии приурочены ореолы молибдена интенсивностью 0,0005-0,007%. С переходом к эндоконтактовой рудной оболочке содержание молибдена снижается, постепенно возрастает концентрация меди, появляется золото и серебро. Далее, вглубь экзоконтактовой зоны, в ореолах к меди и золоту присоединяются свинец и цинк.

Метасоматоз и оруденение. Метасоматические процессы и связанное с ними рудообразование на Култуминском рудном поле имеет длительное последовательное развитие [114]. Метасоматитами, содержащими продуктивную рудную минерализацию, являются скарны с наложенной золотосульфидной минерализацией, биотитизированные породы с золото-медной минерализацией, березиты с Au-полиметаллической минерализацией. Руды формировались в результате последовательного отложения ряда разновременных парагенетических

минеральных ассоциаций. Для Култуминского месторождения характерно развитие золото-железо-медного оруденения. Преобладают две минеральные разновидности первичных руд – магнетит-сульфидная (халькопирит-пирит-магнетитовая золотосодержащая руда) и сульфидная (халькопирит-пиритовая золотосодержащая руда), слагающие большинство рудных тел. Окисленные и смешанные (полуокисленные) руды, развивающиеся по первичным природным разновидностям, имеют ограниченное развитие. В пределах рудопроявления Очуногдинское (ЮВ часть поля) получило распространение золото-медное оруденение. Руды принадлежат к одной природной минеральной разновидности – пирротин-пирит-халькопирит-арсенопиритовой и являются малосульфидными (сульфидов до 5 %).

Эксплозивные брекчии. В пределах рудного поля выделяется тело explosивно-гидротермальных брекчий, которое приурочено к узлу сопряжения и пересечения тектонических нарушений. Тело брекчий образовалось непосредственно после становления массива в результате взрыва парообразных растворов, находящихся в надкритическом состоянии. Обломки брекчии представлены гранит-порфирами и гранодиорит-порфирами, сцементированы кварц-полевошпатовой массой. Тело брекчий расположено в центральной части рудного поля на сопряжении Култуминского месторождения и Очуногдинского рудопроявления.

4.1.2. Геофизические поля модели рудно-магматической системы

Одной из важнейших задач при моделировании геологической среды изучаемого объекта является вычисление геофизических аномалий. Исходя из известных физических свойств пород и руд Култуминского рудного поля (см. табл. 4.1.), определены структурно-вещественные комплексы (СВК). На основе выделенных СВК, входящих в состав модели Култуминской рудно-магматической системы, решена прямая задача грави- и магниторазведки. Расчет аномального эффекта гравитационных и магнитных полей рудно-магматической модели выполнен в программе ZondGM2D (рис. 4.3., рис. 4.4.).

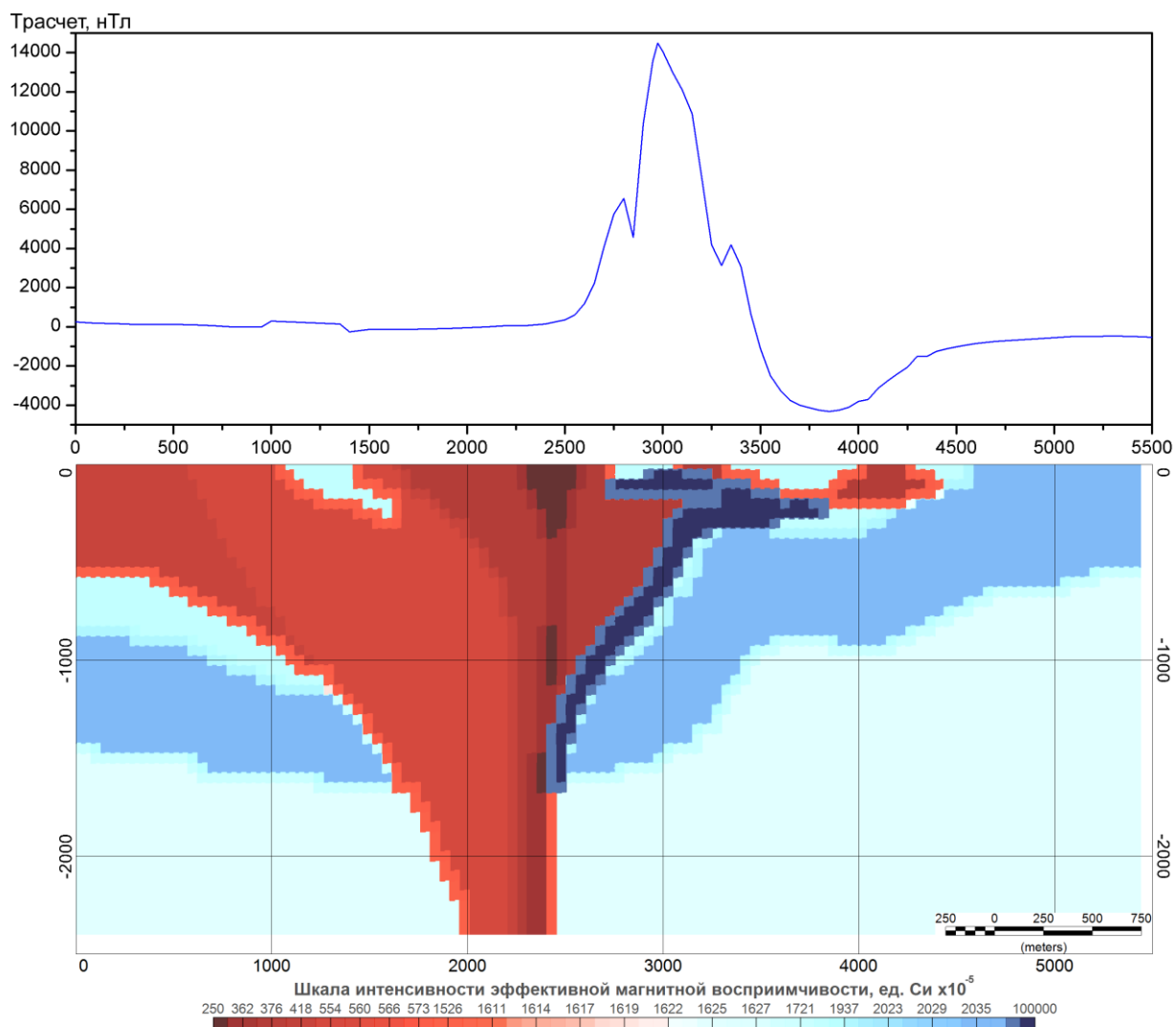


Рис. 4.3. Прямая задача магниторазведки, расчет магнитных аномалий (Т) для рудно-магматической модели Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2016 г.

Таблица 4.1. Физические свойства СВК рудно-магматической 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 (Борщевочный комплекс)	2,64	420
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

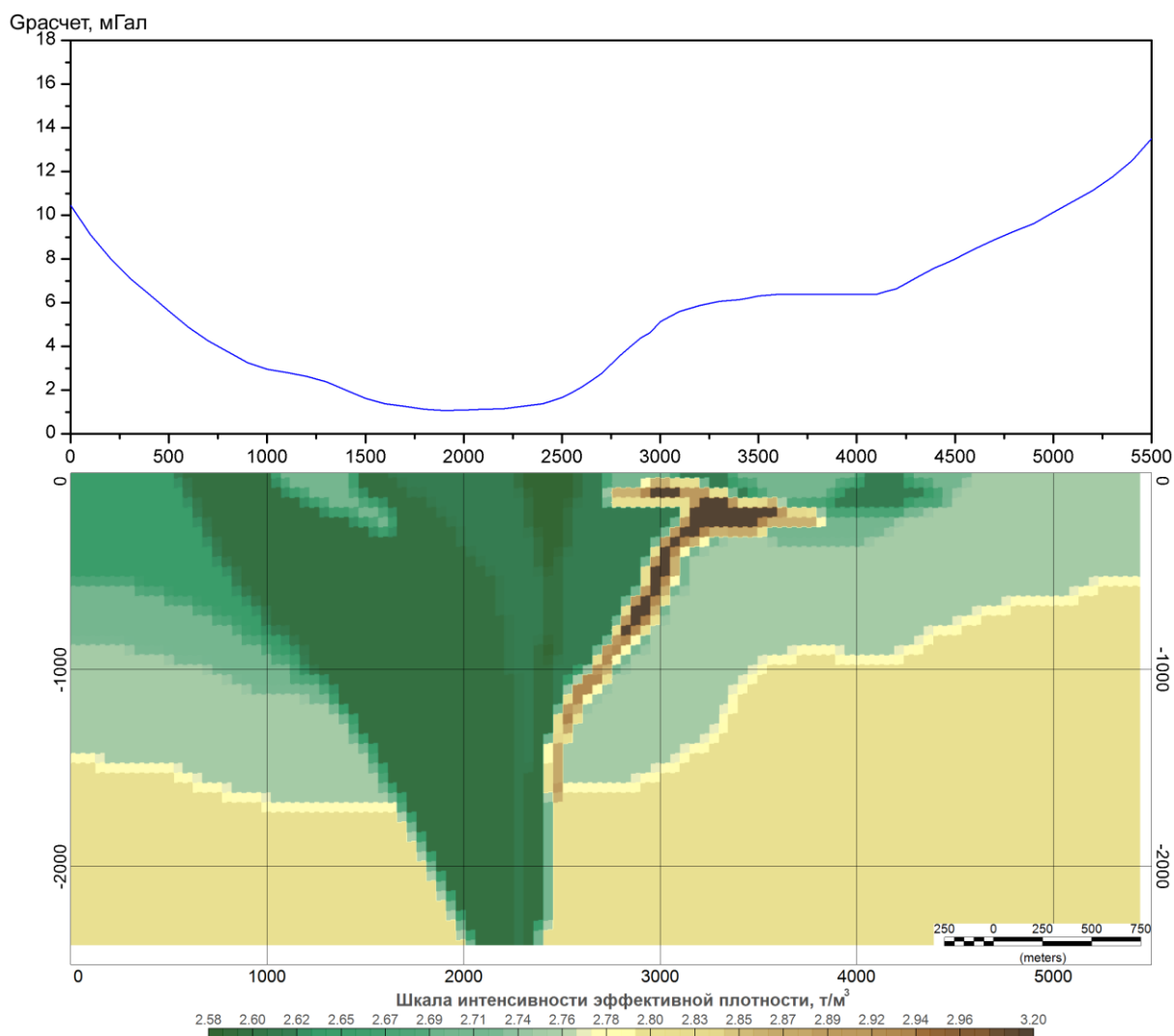


Рис. 4.4. Прямая задача гравиразведки, расчет аномалии силы тяжести (G) для рудно-магматической модели Култуминского рудного поля. Составил Груздев Р.В., 2016 г.

Моделирование гравитационных и магнитных аномалий выполнено до глубины около 2,5 км. При трансформации региональной составляющей аномального поля остаточные аномалии (локальные) будут локализовать непосредственно аномалиеобразующий объект.

Судя по расчетным графикам гравитационных и магнитных аномалий скарновое золото-железо-медное оруденение однозначно выделяется повышенными значениями в магнитном и гравитационном поле относительно вмещающей среды. Результаты математического моделирования гравитационных и магнитных аномалий доказывают способность вышеуказанных методов выступать прямыми поисковыми при задачах локализации и картирования аномалиеобразующих объектов скарнового золото-железо-медного типа оруденения.

4.2. Поисково-оценочные факторы и критерии рудных объектов Култуминского рудного поля

Култуминское рудное поле представляет собой комплексное (Cu, Au, Fe, Ag) в различных сочетаниях порфирово-скарновое оруденение, парагенетически связанное с позднемезозойскими гранодиорит-порфировыми интрузиями.

На основании всего изложенного разработаны факторы и критерии рудных объектов Култуминского рудного поля:

1) Региональный фактор определяется геолого-структурной позицией в Монголо-Забайкальской минерагенической провинции и принадлежность к Быстринско-Лугоканской минерагенической группе, в которой главную роль играла эпоха средне-позднеюрской тектоно-магматической активизации.

2) Локальные геолого-структурные факторы.

а) Литолого-структурные факторы:

– широкое развитие с частыми переслаиваниями терригенно-карбонатных пород нижнего кембрия (известняки, песчаники, алевролиты);

– интенсивное проявление разновозрастных, разноориентированных и разнопорядковых складчато-разрывных дислокаций;

– условия динамического растяжения, предопределяющие повышенную проницаемость для постмагматических рудных растворов и, соответственно, пути циркуляции гидротерм.

б) Магматические факторы:

– наличие единой долгоживущей рудно-магматической системы, в которой позднеюрский магматизм шахтамиского комплекса является рудогенерирующим. При этом гранодиорит-порфировые интрузии предопределяют формирование как скарнового, так и (в сочетании с эксплозивно-гидротермальными брекчиями) медно-порфирового типов оруденения (см. рис. 4.1.). По данным K/Ar определений, возраст шахтаминского комплекса находится в диапазоне 167-155 млн. лет [60];

- средне-малоглубинные (до 1-1,5 км) условия формирования и относительно небольшие (до 20 кв. км.) размеры порфировых интрузий шахтаминского комплекса. Дайки и апофизы интрузий того же комплекса (см. рис. 1.4, 1.5.);
- лополитообразная форма рудоносных интрузий, предопределяющая согласную со слоисто-складчатой структурой вмещающей среды морфологию рудных тел (см. рис. 4.1.).

Минералого-геохимические и геофизические признаки:

- полигенерационный процесс рудообразования в результате последовательного отложения ряда разновременных парагенетических минеральных ассоциаций [70, 114];
- наличие золотоносных россыпей и крупных площадных шлиховых ореолов рассеяния золота, в которых, помимо золота, широко распространены скарновые минералы (гранат, магнетит, и др.);
- масштабное с зональным размещением проявление гидротермально-метасоматических изменений. Зональность проявляется в последовательной смене от контакта интрузии к периферии: калишпатизированные породы, скарны, биотитолиты, а затем по поздним разрывным зонам березиты и аргиллизиты. Метасоматитами, содержащими продуктивную рудную минерализацию, являются магнетитовые скарны с золото-медной минерализацией, биотитизированные породы с золото-медной минерализацией и березиты с Au-полиметаллической минерализацией (рис. 2.7.);
- текстура руд месторождений преимущественно вкрапленная, прожилково- и гнездово-вкрапленная, реже – массивная. Содержание сульфидов в рудных телах широко варьирует, достигая в отдельных участках 5-10%. В рудах высокая корреляционная зависимость золота и меди $+0,72$;
- контрастные, зонально размещенные геохимические ореолы: Au, Ag, Cu, Mo, As, Zn, Pb. Зональность в размещении рудных компонентов, свойственная порфировым системам, проявляется по следующей схеме (от контакта интрузии к периферии): $Mo \rightarrow Cu + Au + As \rightarrow Ag + Pb + Zn$. К центральной части Култуминской интрузии приурочены ореолы молибдена с интенсивностью 0,0005-0,007

%. Рудное поле обрамляется вторичным геохимическими ореолами рассеяния золота (0,01-1 г/т), меди (0,01-0,5 %), мышьяка (0,01-0,5 %), серебра (0,0001-0,001 %) цинка (0,02-0,2%) и свинца (0,01-0,1 %);

– гранитоиды шахтаминского комплекса (рудогенерирующие) обладают радиоактивностью 12-15 мкР/ч, содержат урана $2-4 \cdot 10^{-5}\%$, тория $8-12 \cdot 10^{-4}\%$, калия 2,5-3%. Средние значения плотности гранитоидов составляют $2,62 \text{ т/м}^3$, магнитной восприимчивости – $374 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, удельного электрического сопротивления – 5503 Ом·м. Среднее значение кажущейся поляризуемости 1,30 %.

– участки развития магнетитовых скарнов за счет высоких значений плотности (более $2,90 \text{ т/м}^3$) и магнитной восприимчивости (более $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) выделяются локальными максимумами гравитационного поля (от 0,5 и более мГал) и интенсивными знакопеременными аномалиями магнитного поля (5000-26000 и более) нТл. В электрических полях рудные объекты картируются пониженными значениями кажущихся сопротивлений (500 Ом и менее) и высокими значениями в поле кажущейся поляризуемости (3-10 % и более). Зоны окисления создают интенсивные знакопеременные аномалии ЕП (до 300 мВ). По результатам геофизических исследований скважин магнетитовые скарны контрастно выделяются на кривых КС, ВП, ПС, МСК и главным образом в полях КМВ.

В качестве близких аналогов объектов Култуминского рудного поля можно привести следующие месторождения. В ЮВ Забайкалье являются Быстринское и Лугоканское месторождения [67; 71; 73]. По высокому содержанию золота и серебра Култуминское месторождение и Очуногдинское проявление приближаются к месторождению Кальмакыр (Алмалыкский рудный район Кураминской минерогенической зоны Тянь-Шаня) [69]. Оруденение здесь размещается в эффузивной и карбонатной толщах, прорванных порфировыми интрузиями монзонитов. На контакте с ними карбонатная толща скарнирована. Метасоматические изменения выражаются в окварцевании, серицитизации, каолинизации, пропилитизации, ангидритизации и т. д. Рудные тела имеют форму штокверков, представленных кварц-пирит-халькопиритовыми прожилками и

вкрапленностью с примесью галенита, сфалерита, самородных золота и серебра и др. Содержание меди 0,8 %, молибдена 0,01 %, золота 1,5 г/т и серебра 5 г/т. Оруденение прослежено до глубины 1200 м.

Другим близким аналогом рассматриваемых объектов является месторождение Моренси, расположенное в Американо-Мексиканской медно-порфировой провинции [62]. Площадь этого месторождения сложена кварцит-сланцево-карбонатной толщей, прорванной дайками и силами монцонит-порфиров, гранит-порфиров, диоритовых порфиритов, диабазов и др. Карбонатные породы на контакте с порфировыми интрузиями скарнированы. В приконтактной зоне с монцонит-порфирами развиты штокверковые тела с жильково-вкрапленным оруденением. Рудная минерализация представлена пиритом, халькопиритом, молибденитом, сфалеритом, золотом и серебром.

Также следует отметить о некотором сходстве объектов Култуминского рудного поля с Fe-оксидным Cu-Au (IOCG) типом месторождений, который завоевывает все большую популярность в мире как объект добычи меди, золота, серебра и др. В России (IOCG) тип месторождений слабо изучен и как отдельный практически не выделяется, в мировой практике выявление таких месторождений началось с открытия в 1975 г. в Австралии месторождения Olympic Dam.

Все известные IOCG месторождения являются частью большой группы Cu-Au-порфировых месторождений, генетически связанных с высококалиевыми гранитоидными интрузиями. Формирование месторождений происходило в длительный период от архея до мезозоя в разнообразных геодинамических обстановках в широком интервале глубин, с крупным распространением по площади метасоматических изменений пород. IOCG месторождения представлены примерно 20 % содержанием оксидов Fe и дефицитом сульфидов. Рудная минерализация представлена халькопиритом, золотом и серебром, локализованными в Fe-оксидах. Гематиты характеризуют малоглубинные, магнетиты – глубокие уровни минерализации. В геофизических полях IOCG являются благоприятным объектом для магнитометрических и гравиметрических исследований [63].

В заключение хотелось бы отметить, что в результате комплексного исследования рудно-магматической системы Култуминского рудного поля разработана поисково-прогнозная модель скарновой золото-медно-порфировой формации (табл. 4.2.).

Таблица 4.2. 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 → березитизация → аргиллизация.
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 порфировых интрузий
6. Метаморфические	Развитие роговиковых фаций контактового метаморфизма
7. Структурно-тектонические	Складки первого порядка (Будюмканский синклиниорий), 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

4.3. Оценка прогнозных ресурсов Култуминского рудного поля

Прогнозная оценка Култуминского рудного поля осуществлялась в соответствии с нормативным документом [4; 5; 6; 7].

Количественная и качественная оценка параметров оруденения на всех стадиях геологоразведочного процесса имеет различную степень достоверности или обоснованности, что отражается на отнесении их к различным категориям ресурсов и запасов. Параметры отдельно взятого объекта не дают полного представления о его промышленной значимости, до того момента пока не выполнено сравнение с другими рудными объектами того же минерального сырья с учетом состояния разведанных запасов и потребностей минерально-сырьевой базы страны [19].

В данной работе рассмотрена методика оценки прогнозных ресурсов на основе геофизических данных и математического моделирования.

Построенная модель интерпретации по данным гравитационных и магнитных полей наглядно отображает геолого-структурные особенности месторождения и позволяет оценить его прогнозный потенциал. Подход к оценке прогнозных ресурсов категории P_2 на основе геолого-геофизической модели интерпретации выглядит более обоснованным и экспрессным. В том числе метод оценки имеет ряд преимуществ, так как целиком и полностью основан на физических свойствах изучаемого объекта.

На основе результатов интерпретации и объемного моделирования в пределах контура Култуминского рудного поля произведем оценку прогнозных ресурсов по категории P_2 . Основная идея оценки заключается в том, что ранее выделенные аномальные изоповерхности с плотностью более $2,90 \text{ т/м}^3$ и магнитной восприимчивостью более $10000 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$ заключают в себе объем, который отражает совокупность рудных объектов (см. табл. 1.1.).

Как уже было отмечено, границы аномальных изоповерхностей не всегда совпадают, что не может утверждать о не корректном качестве интерпретации. Возможными причинами, из-за которых могли возникнуть подобные невязки, в

первую очередь, являются неоднозначность решения обратной задачи магнито- и гравиразведки, сложное геологическое строение, разная сеть наблюдений при полевых работах, неравномерное распределение магнитных минералов в скарнах и многое другое. Поэтому, для оценки прогнозных ресурсов используется осредненная обобщенная блочная модель интерпретации [43]. Подготовка обобщенной блочной модели выполнена в Geosoft Oasis Montaj на основе алгоритма кластерного анализа объемных моделей эффективной избыточной плотности и эффективной магнитной восприимчивости (рис. 4.5.). Следует отметить, что коэффициент корреляции для выделенных объектов по интерпретации магнито- и гравиразведки составил +0,88.

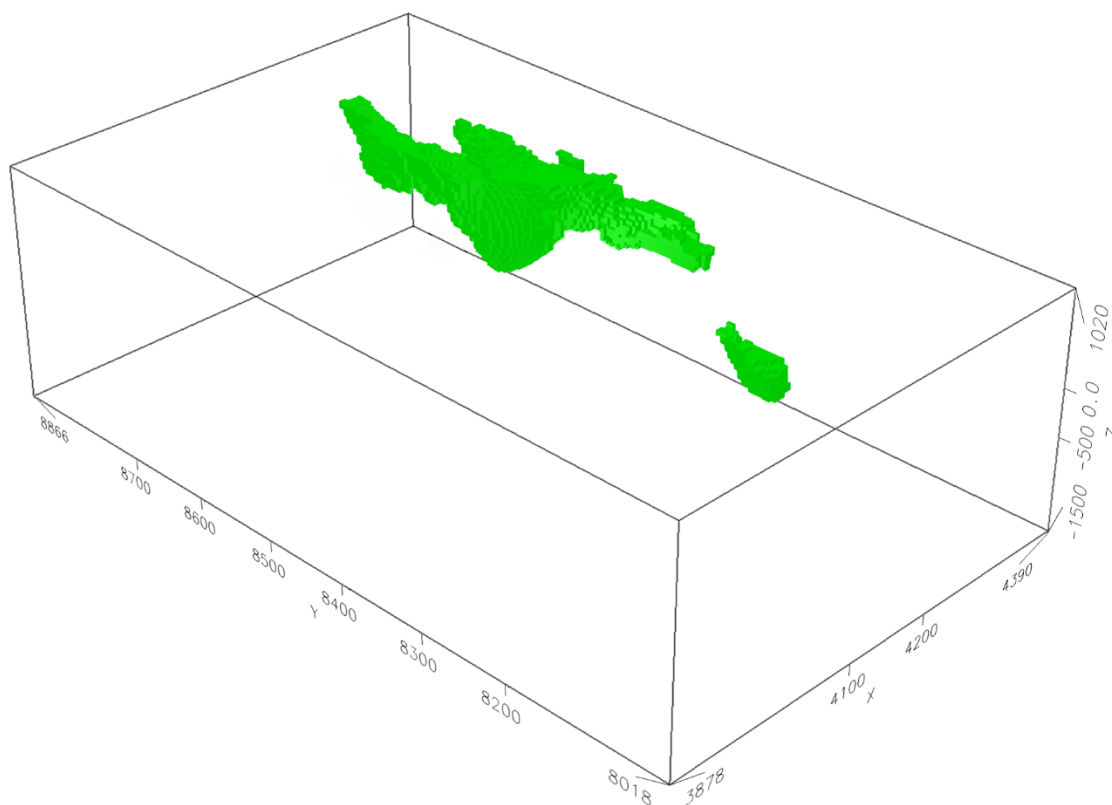


Рис. 4.5. Блочная модель интерпретации на основе данных эффективной избыточной плотности и магнитной восприимчивости. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровня техники и технологии разработки месторождений. С учетом целесообразности извлечения при современном состоянии экономики и техники, оценку прогнозных ресурсов по категории P_2 ограничим до глубины 300 м (по данным ООО «Востокгеология») [92; 114]. Вычисление объема ано-

малиеобразующего объекта в Geosoft Oasis Montaj рассчитывается автоматически в панели инструментов «свойства построенного объекта». Исходя из этого, на основе осредненной обобщенной блочной модели интерпретации (см. рис. 4.5.) 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. Расчет коэффициента рудоносности возможен при наличии скважин, которые должны быть пробурены на аномальном профиле, вскрыв выделенный аномальный объект. В качестве альтернативы можно использовать коэффициент рудоносности с месторождения-аналога, однако, здесь следует быть предельно осторожным, так как погрешность в расчетах может стать критичной, что кардинально исказит прогнозные ресурсы [22].

В пределах Култуминского рудного поля в выделенный аномалиеобразующий объект попадает не один десяток скважин, наиболее близкие к эпицентрам аномалий прослежены в 16 скважинах (табл. 4.3.).

Таблица 4.3. Расчет коэффициентов рудоносности по скважинам.

Скважина	Мощность аномального объекта, м	Суммарная мощность рудных интервалов, м	Коэффициент рудоносности, усл. ед.
109	403	116.0	0.29
117	325	96.0	0.30
134	316	88.0	0.28
139	64	15.0	0.23
150	70	20.0	0.29
167	301	106.0	0.35
170	464	117.2	0.25
173	324	83.4	0.26
174	112	22.0	0.20
175	352	102.0	0.29
875	152	83.1	0.55
877	225	90.4	0.40
880	137	38.0	0.28
881	92	24.5	0.27
882	25	6.5	0.26
884	85	21.0	0.25

На основе сопоставления выделенного аномального объекта с фактическими рудными интервалами по данным бурения, коэффициент рудоносности рассчитывается как отношение суммы рудных интервалов к мощности аномального объекта (рис. 4.6.). Результаты вычислений занесены в (см. табл. 4.3).

$$K_{\text{(рудоносности)}} = \frac{m_{\text{(руды)}}}{m_{\text{(объекта)}}}$$

Где $m_{\text{(руды)}}$ – суммарная мощность рудных интервалов, $m_{\text{(объекта)}}$ – мощность аномалиеобразующего объекта.

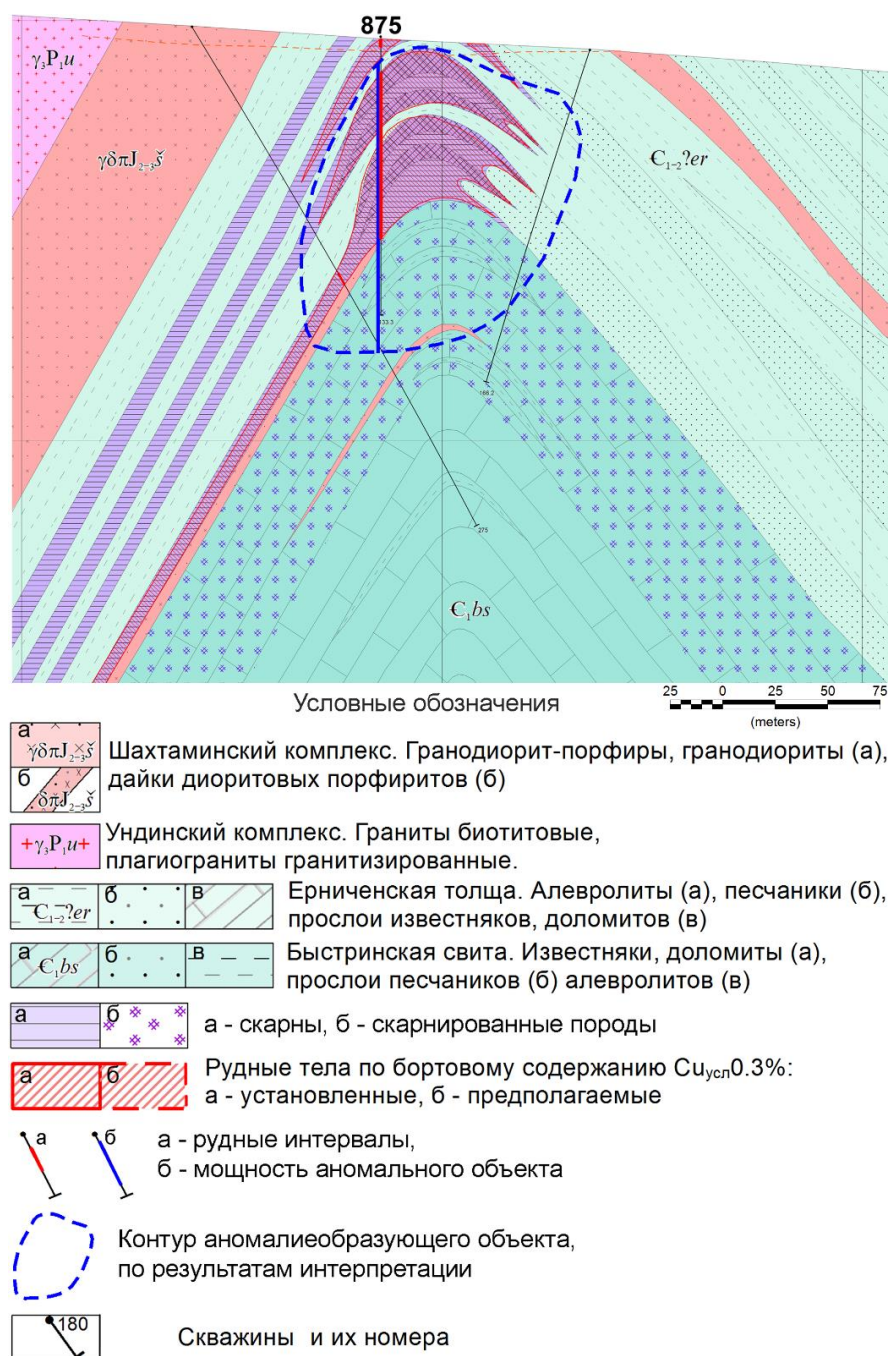


Рис. 4.6. Обоснование расчета коэффициента рудоносности на примере скважины № 875. Составил Груздев Р.В. с использованием материалов ООО «Востокгеология», 2015 г.

На основе сопоставления суммарной мощности рудных интервалов для 16 рудных скважин (по материалам бурения ООО «Востокгеология») и мощности аномалиеобразующего объекта, определенного по результатам интерпретации, выявлена отчетливая корреляционная зависимость (рис. 4.7.), коэффициент корреляции +0,94, достоверность аппроксимации функции $R^2=0,88$ [42].

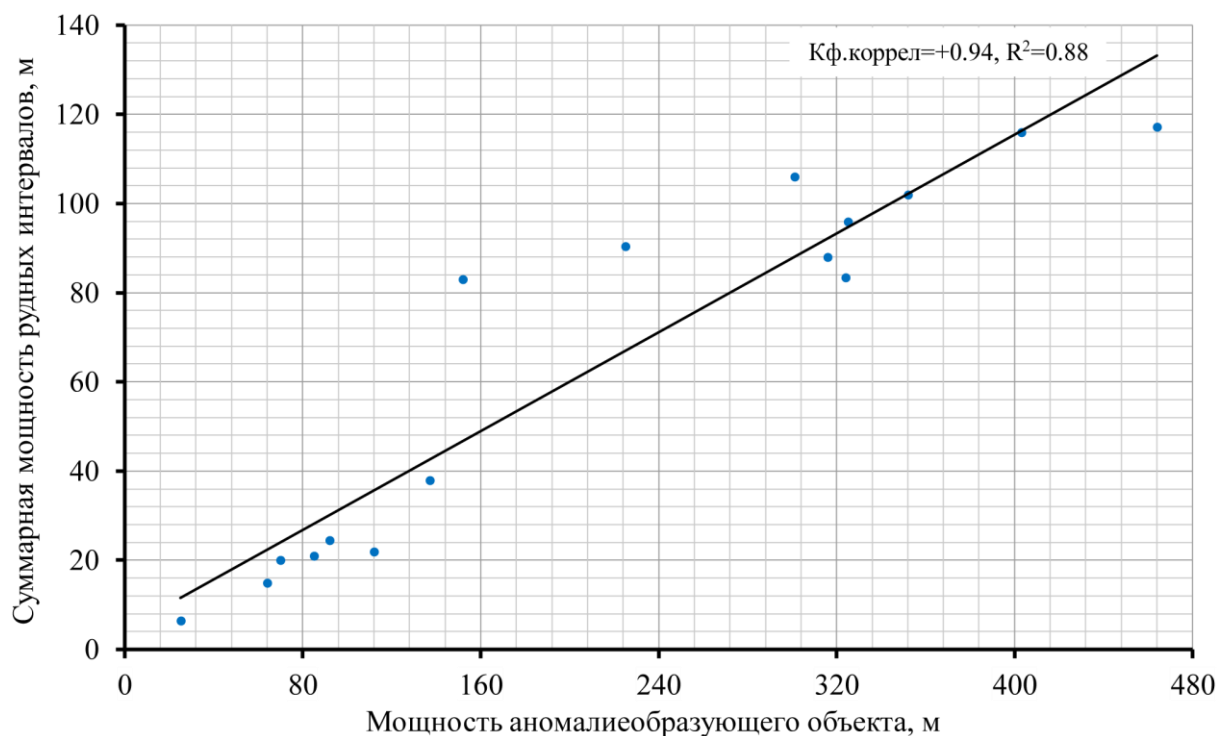


Рис. 4.7. Корреляционная зависимость суммарной мощности рудных интервалов от мощности аномального объекта по интерпретации. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

В результате статистических расчетов выполненных на основе 16 рудных скважин средний коэффициент рудоносности, согласно данных (см. табл. 4.3.) на Култуминском рудном поле составил – 0,30 усл. ед.

Таким образом, объем руды в аномальном объекте будет рассчитан по формуле [5; 19]:

$$V_{(\text{руды})} = V_{(\text{аномального_объекта})} \times K_{(\text{рудоносности})},$$

где $V_{(\text{аномального_объекта})}$ – объем аномального объекта, $K_{(\text{рудоносности})}$ – коэффициент рудоносности.

Для оценки прогнозных ресурсов необходимо иметь данные объемной массы руд. 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. 4.8., рис. 4.9.) наглядно продемонстрировано распределение значений эффективных плотностей в ячейках блочной модели интерпретации.

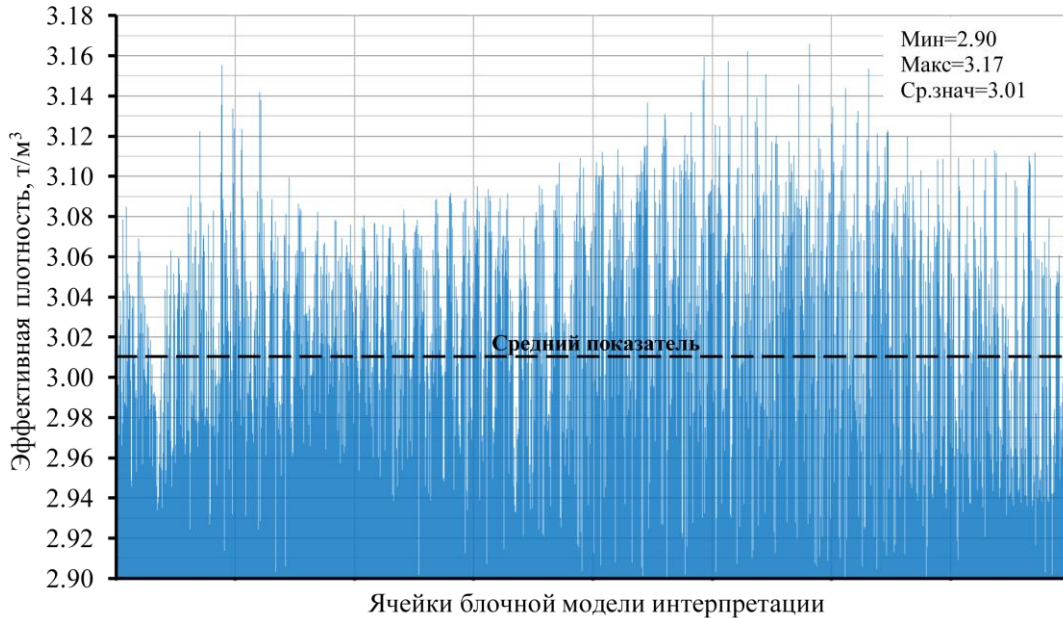


Рис. 4.8. Диаграмма распределения значений эффективных плотностей в ячейках блочной модели интерпретации. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

Ниже продемонстрирована частота относительного распределения аномальных значений эффективной плотности в блочной модели интерпретации.

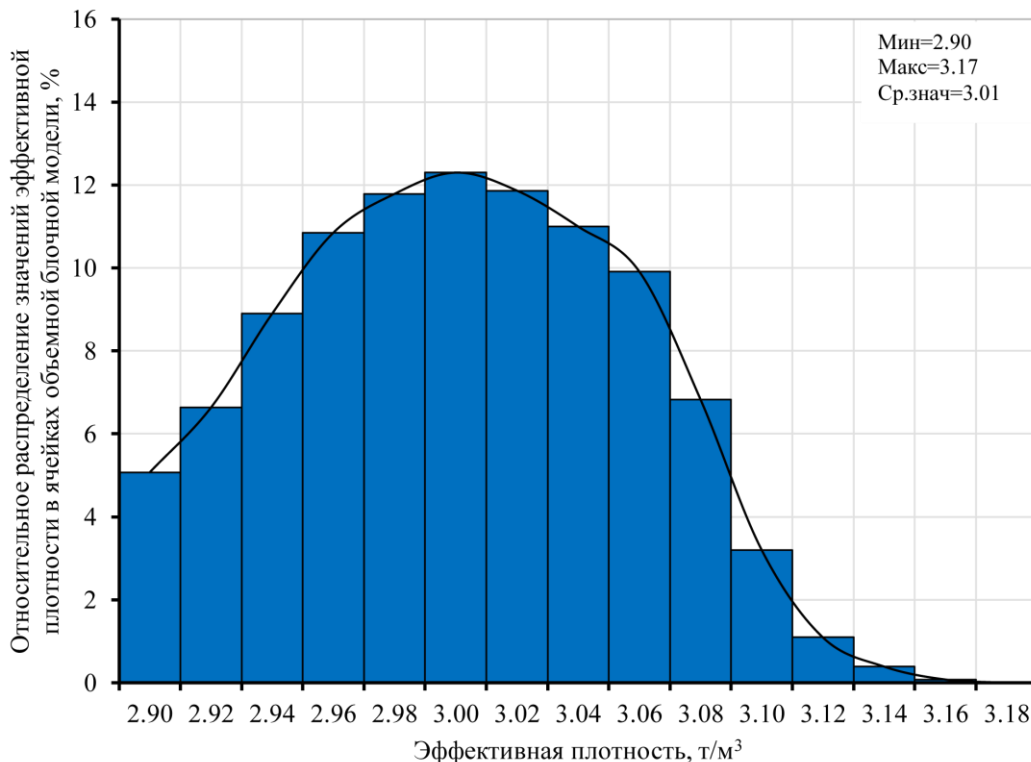


Рис. 4.9. Диаграмма относительной частоты распределения значений эффективных плотностей в ячейках блочной модели интерпретации. Составил Груздев Р.В., 2015 г.

По материалам ООО «Востокгеология», объемная масса магнетитовых руд составляет в пределах 2,82-3,23 т/м³ [112; 114]. 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.

Прогнозные ресурсы для категории P₂ оцениваются по формуле [5;19]:

$$Q(P_2) = V_{\text{(руды)}} \times D,$$

где D – среднее значение объемной массы руды.

Согласно выполненной оценке прогнозные ресурсы по категории P₂ на Култуминском рудном поле, приблизительно, могут составлять 293,818 млн. т. руды. По данным оценочных работ, выполненных ООО «Востокгеология», средние содержания полезных компонентов составили: Cu – 0,33 %, Au – 0,66 г/т, Ag – 5,41 г/т, Fe_{магн} – 17,54 % [114]. Соответственно прогнозные ресурсы этих металлов составили: Cu – 969,6 тыс. т, Au – 193,9 т, Ag – 1589,5 т, Fe_{магн} – 51,5 млн. т. (табл. 4.4.) [3; 26]. На основании запасов, оцененных по категории (C1+C2) до глубины 300 м (ООО «Востокгеология», 2013 г.) по результатам авторской интерпретации предположительно выявлен прирост руды – 92,82 млн. т. к запасам, золота в количестве – 61,22 т., меди – 282,20 тыс. т., серебра – 502,45 т. и железа магнетитового – 16,28 млн. т.

Практическую значимость имеет оценка прогнозных ресурсов для всего объема аномалиеобразующего 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 [114]. 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.

Таблица 4.4. Оценка прогнозных ресурсов по категории Р₂ на Култуминском рудном поле.

Объект	Объем аномального объекта, км ³	Объем руды с учетом коэффициента рудности, 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

ВЫВОДЫ

1. Модель рудно-магматической системы Култуминского рудного поля скорректирована на основе последних результатов геологоразведочных работ и проведенной авторской интерпретации геолого-геофизических материалов на современном уровне трехмерного моделирования. На модели впервые сведены воедино представления о геологическом строении, обобщены геолого-структурные особенности и закономерности размещения объектов Култуминского рудного поля.

2. Блочная модель интерпретации, разработанная на основе кластерного анализа эффективной избыточной плотности и магнитной восприимчивости, используется для оценки прогнозных ресурсов по категории P_2 . Коэффициент корреляции для выделенных аномалиеобразующих объектов по результатам интерпретации магниторазведки и гравиразведки составил (+0,88).

3. Установлена четкая корреляционная зависимость (+0,94) между суммарной мощностью рудных интервалов и мощностью аномалиеобразующего объекта выделенного по результатам интерпретации. Коэффициент рудоносности для аномалиеобразующего объекта составил 0,30 ед.

4. Выделенные поисково-оценочные критерии и признаки Култуминского рудного поля не только обобщают и конкретизируют объект, но и позволяют быть отправными для поиска и оценки месторождений-аналогов в пределах Забайкальского края.

5. На основе совокупности выделенных геолого-геофизических критериев и результатов трехмерной интерпретации проведена авторская оценка прогнозных ресурсов по категории P_2 , по которой рассматриваемый объект становится в разряд весьма перспективных на золото, медь, серебро и железо. Прирост (на основании запасов, оцененных по категории $(C1+C2)$ до глубины 300 м ООО «Востокгеология», 2013 г.) руды – 92,82 млн. т. к запасам, 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.

Результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

- установлена парагенетическая связь комплексного (Cu, Au, Fe, Ag) оруденения с шахтаминскими гранодиорит-порфирами юры и доказана их принадлежность к единой рудно-магматической системе;
- по вторичным ореолам рассеяния выявлена характерная для медно-порфировых систем геохимическая зональность в размещении полезных компо-

нентов (от центра к периферии Култуминской интрузии):
 $\text{Mo} \rightarrow \text{Cu} + \text{Au} + \text{As} \rightarrow \text{Ag} + \text{Pb} + \text{Zn}$;

– руды Култуминского рудного поля 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;

– 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;

– 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;

– 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;

– 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. к запасам, золота в количестве – 61,22 т., меди – 282,20 тыс. т., серебра – 502,45 т. и железа магнетитового – 16,28 млн. т.

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 Аргун-

ского 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 [72]. 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 [34].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нормативные акты

1. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) /М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 263 с.
2. Инструкция по гравиразведке /М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1980. – 89 с.
3. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям медных руд. М.: Недра, 1983.
4. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ГКЗ, 1997. – 15 с.
5. Кривцов А.И. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ЦНИГРИ, 2010. – 95 с.
6. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. М.: ФГУ ГКЗ, 2007. – 39 с.
7. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное. М.: ФГУ ГКЗ, 2007. – 73 с.

Монографии, учебники и учебные пособия

8. Ажгирей Г.Д., Берешенкова Б.К., Прокофьева А.П. Методы поисков и разведки полезных ископаемых. Изд. 2-е, перераб и доп. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы и охране недр, 1954. – 463 с.
9. Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений (Учебное пособие). – М.: Недра, 1975. – 271 с.
10. Голиздра Г.Я. Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения Земной коры. М., Недра, 1988. – 212 с.
11. Гольцман Ф.Н., Калинина Т.Б. Статистическая интерпретация магнитных и гравитационных аномалий. Л., Недра, 1983. – 248 с.

12. Духовский А.А. (отв. исп.), Н.А. Артамонова, А.И. Атаков и др. Методическое пособие по изучению глубинного геологического строения складчатых областей для Государственной геологической карты России масштаба 1:1 000 000 / СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. – 135 с.
13. Жариков, В. А. Скарновые месторождения. – М.: Недра, 1968. – С. 220-302.
14. Жариков В.А., Омеляненко Б.И. Классификация метасоматитов. – М.: Наука, 1978. – С. 9-28.
15. Жариков, В. А. Общая характеристика скарнов и скарновых месторождений. – М.: Наука, 1985. – С. 4-25.
16. Жариков, В. А. Метасоматизм и метасоматические породы. – М.: Научный Мир, 1998. – 492 с.
17. Каминский А.Е. Руководство к программе ZondMag 3D. СПб., 2017. – 80 с.
18. Каминский А.Е. Руководство к программе ZondMag2D. СПб., 2010. – 49 с.
19. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1974. – 304 с.
20. Коржинский Д.С. Образование контактовых месторождений. Изв. Ан СССР, сер. геол. № 3. – 1945.
21. Косыгин Ю.А., Власов Г.М. и др. Магматогенно-рудные системы. М.: Наука, 1986. – 252 с.
22. Красулин В.С. Справочник техника-геолога. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. «Недра», 1974. – 384 с.
23. Крейтер В.М. Структура рудных полей и месторождений. / В.М. Крейтер. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы и охране недр, 1956. – 272 с.
24. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М., Недра, 1983. – 256 с.

25. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфировые месторождения мира. – М.: Недра, 1986. – 235 с.
26. Кривцов А.И. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Часть 3. Оценка прогнозных ресурсов цветных металлов. М.: 1989. – 208 с.
27. Логачев А.А. Захаров В.П. Магниторазведка. 5-е изд., перераб. и доп. – Л: Недра, 1979. – 351 с.
28. Маловичко А. К., Костицын В. И. Гравиразведка. Учеб. для вузов. – М Недра, 1992 – 357 с.
29. Матусевич А. В. Гравиразведка Прикаспийской впадины. – Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2013. – 176 с.
30. Мудрецова Е.А. Гравиразведка. Справочник геофизика. / Е.А. Мудрецова, К.Е. Веселов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 607 с.
31. Павлова И.Г. Медно-порфировые месторождения. Закономерности размещения и критерии прогнозирования. Л., Недра. 1978. – 275 с.
32. Портнова В.П. Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья. М.: Недра, 1976. – 231 с.
33. Пилипенко П.П. Скарны и оруденение. Тр. МГРИ. т. 13, 1939. – С. 3-81.
34. Редин Ю.О. Золоторудная минерализация Лугоканского рудного узла (Восточное Забайкалье): минеральные ассоциации, возраст, эндогенная зональность. Диссертация. – Новосибирск, 2015. – 124 с.
35. Синяков В.И. Генетические типы скарновых рудообразующих систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 71 с.
36. Сергеев А.Д. Систематика и критерии оценки скарново-шеелитовых месторождений Восточного Забайкалья: Сборник научных трудов. – М.: ВИМС, 1980. – С. 121-133.
37. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. М.: Недра 1989. – 437 с.

38. Старостин В.И., Игнатов Н.А. Геология полезных ископаемых. М.: МГУ, 1997. – 304 с.

39. Старостин В.И., Дергачев А.Л., Семинский Ж.В. Структуры рудных полей и месторождений: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 352 с.

40. Шабынин Л.И. Формация магнезиальных скарнов. – М.: Наука, 1973. – 214 с.

41. Шабынин Л.И. Рудные месторождения в формации магнезиальных скарнов. – М.: Недра, 1974. – 288 с.

42. Шрайбман В.И., Жданов М.С., Витвицкий О.В. Корреляционные методы преобразования и интерпретации геофизических аномалий. М: Недра. 1977. – 237 с.

Публикации в периодических изданиях

43. Аронов В.И. Трехмерная аппроксимация как проблема обработки, моделирования и интерпретации геофизических и геологических данных // Геофизика, 2000. – №4. – С. 21-25.

44. Аузин А.А., Глазнев В.В. Разработка трехмерных компьютерных моделей геологических сред. Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. – 2000. – №5(10). – С. 177-182.

45. Аузин А.А., Глазнев В.В. Объемные цифровые модели геологических объектов и некоторые проблемы их создания // Геофизика, 2000. – №5. – С. 40-43.

46. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Буш В.А., Трусов А.А. Интерпретация аэро-геофизических данных при поисках месторождений нефти и газа // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 5. – С. 13-18.

47. Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О., Крымский Р.Ш., Ларионов А.Н., Николаева И.В., Серов П.А. Шахтаминская Мо-порфировая рудно-магматическая система (Восточное Забайкалье): возраст, источники, генетические особенности. Геология и геофизика, 2013, т. 54, – №6. – С. 764-786.

48. Бессонов Н.Н. Выделение молибден-медно-порфирового типа оруденения на территории юго-восточного Забайкалья. Вестник ЧитГУ, 2009. – №1 (52). – С. 12-19.

49. Бессонов Н.Н. Перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов Юго-Восточного Забайкалья. Маркшейдерия и Недропользование. – 2010. – № 3.

50. Бисеркин И.А., Федотов В.А. Детализация плотностной модели с помощью алгоритма многопризнаковой фильтрации. Геоинформатика, 2013. – № 3. – С. 25-29.

51. Булах Е.Г. О выделении регионального фона при интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1979. – № 2. – С. 95-99.

52. Буханова Д.С. Типоморфные характеристики меднопорфирового оруденения. Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, 2012. – С. 5-12.

53. Бычков С.Г. Современные технологии интерпретации гравиметрических данных при исследованиях на нефть и газ: Материалы международной конференции и научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 2005. – С. 1-22.

54. Гайворонский Б.А. Минералого-геохимические особенности и некоторые закономерности локализации шеелитоносных скарнов Восточного Забайкалья и Монголии. //Вопросы геологии и металлогении Читинской области: Сборник науч. тр. – М., 1986. – С. 54-57.

55. Галуев В.И. «ГИС ИНТЕГРО ГЕОФИЗИКА – геоинформационная система интегрированной интерпретации геофизических данных для изучения глубинного строения земной коры». Геоинформатика. – 2006. – №1. – С. 3-9.

56. Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарново-шеелит-сульфидных месторождений Востока России // Рудогенез и металлогения Востока Азии. Якутск: 2006. Тезисы докл. С. 38-40.

57. Гончар А.И., Неверова С.И., Шундель А.И., Шлычек Л.И. 2010 Создание системы компьютерного трехмерного моделирования геофизических полей геологических структур. Гидроакустический журнал. Запорожье, 2010. – № 7. – С. 90-100.

58. Гладков Е.А. Методология создания трехмерной геолого-технологической модели на месторождениях с историей разработки более 50 лет // Бурение и нефть. – 2011. – № 1. – С. 32-35.

59. Долгаль А.С. Аппроксимация геопотенциальных полей эквивалентными источниками при решении практических задач // Геофизический журнал, 1999. – Т. 21. – № 4. – С. 71-80.

60. Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Туркина О.М., Гимон В.О., Абрамов Б.Н. Култуминское золото-медно-железо-скарновое месторождение (Восточное Забайкалье, Россия): петрогеохимические особенности магматизма и процессы рудообразования // Геология и геофизика, 2019. – № 6. – С. 774-771.

61. Коваль Л.А., Приезжев И.И., Овчаренко В.В. и др. Интерпретация комплексных данных методами распознавания и классификации в автоматизированной системе обработки аэрогеофизических материалов. Геология и геофизика, 1985. – № 5. – С. 44-52.

62. Контарь Е.С. Месторождения меди в геологической истории Земли. Региональная геология и металлогения, 2015. – № 61. С. 77-91.

63. Костин А.В. FE-оксидная-CU-AU (IOCG) минерализация на востоке Якутии (как основа наращивания ресурсной базы благородных и цветных металлов). Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. Новосибирск, 2014. – № 4. – С. 128-135.

64. Костров Н. П., Манушко Е. А., Иванов К. С. Магнитная модель центральной части Даниловского грабена Западной Сибири. Литосфера, 2014. – № 1. – С. 95-104.

65. Красный Л.И. Тектонотип межблоковой (коллизивно-аккреционной) структуры: системы Монголо-Охотская и Циньлинская // Тихоокеанская геология. – 1997. – Т. 16. – № 5. – С. 3-9.

66. Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКА Д 3D // Геофизика. – 2000. – № 4. – С. 29-33.

67. Петухов В.М. Современное состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золотодобывающего комплекса Читинской области // В.М. Петухов, Ю.Ф. Харитонов, В.С. Чечеткин, Г.А. Шевчук, В.Е. Тупяков. Чита: ЧитГУ, 2004.

68. Приезжев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач // Геофизика. – 2010. – № 1. – С. 65-68.

69. Туресебеков А.Х., Головин А.Ф., Балакин В.В., Исмаилов М.А. Бирюза и ее минеральные парагенезисы в медно-порфировом месторождении Кальмакыр (Алмалыкское рудное поле, Узбекская ССР) // Зап. Узб. отд. ВМО. – 1979. – Вып. 32. – С. 64-69.

70. Чернышева Н.Е. Природа Култуминского гранитоидного штока в контексте генетической принадлежности (Восточное Забайкалье). Вестник ЧитГУ, 2011. – №07. – С. 86-93.

71. Чечеткин В.С., Харитонов Ю.Ф., Чабан Н.Н. Минеральные ресурсы забайкальского края, перспективы освоения и развития. Горный журнал, 2011. – № 3. – С. 18-23.

72. Чугаев А.В., Чернышев И.В., Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Киселева Г.Д., Прокофьев В.Ю. Изотопно-свинцовые рудные провинции восточного Забайкалья и их связь со структурами региона (по данным высокоточного MS-ICP-MS-изучения изотопного состава Pb). Геология рудных месторождений, 2013. Том 55. – №4. – С. 282-294.

73. Шевчук Г.А., Харитонов Ю.Ф., Карманов А.Б. Перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы юго-восточного Забайкалья. Горный журнал, 2010. – №5. – С. 34-37.

Публикации автора по теме исследования

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

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

76. 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.

77. 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: ЗабГУ, 2015. – С. 192-198.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. 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.

Источники на иностранных языках

82. Силлитое Р.Х. Медно-порфировые системы. Экономическое общество геологов, Корпорация экономической геологии, 2010. – № 105. – С. 3-41.

83. Грошон Р.Ш. 3-Д Структурная геология. Университет Алабамы, 2006. – 453 с.

84. Уайтхед Н. Руководство пользователя к программе Oasis Montaj 7.2. Торонто, 2012. – 104 с.

Фондовые материалы

85. Адельсон И.М., Ильина А.И. Окончательный отчет о поисковых работах, проведенных на Култуминском железо-борном месторождении. /ЧГУ. Чита: 1960. – 123 с.

86. Адельсон И.М., Ильина А.И. Отчёт о поисковых работах на бор, проведённых летом 1960 г. в районе Култуминского железо-борного месторождения. /ЧГУ. Чита: 1961. – 37 с.

87. Ашанкина К.К., Кужелева Н.В., Старухина Л.П. и др. Легенда Приаргунской серии геологических карт масштаба 1:50000. Отчет по теме А.11.2/(13) 2-3 / 119 за 1981-83 гг. /ПГО Читагеология. Чита, 1983.

88. Вараксина В.Д., Степышева Г.К., Лысенко Н.Д. и др. Справочник условий водоснабжения сельскохозяйственных угодий Читинской области (Алек-Заводский, Борзинский, Газ-Заводский, Забайкальский, Краснокаменский, Приаргунский, Чернышевский районы). Отчёт гидрогеологического отряда ЦГХП по работам 1986-88 гг. //ПГО «Читагеология». Чита, 1988. – 1052 с.

89. Гайворонский Б.А. и др. Обобщение геологических материалов по скарново-вольфрамовому оруденению Восточного Забайкалья. Отчет ЧГУ. Чита, 1973.

90. Гайворонский Б.А., Боровков В.К., Сергеев А.Д. Дать прогнозную оценку Уронайского рудного узла и восточной части Агинско-Борщовочной

зоны на основе изучения условий локализации и особенностей вещественного состава шеелитового и оловянного оруденения. Отчет ЗабНИИ. Чита, 1988.

91. Гунин В.А., Огородников В.Д. и др. Окончательный отчет о геологосъемочных и радиометрических работах Усть-Начинской партии, проведенных в полевой период 1958-59 гг. в среднем течении р. Газимур. Листы N-50-143-А и В. /ЧГУ. Чита, 1960. – 122 с.

92. Дополнение к проекту на проведение поисков и оценки месторождений меди, золота и попутных компонентов в пределах Култуминской площади. ООО «ГРК «Быстринское», ООО «Востокгеология». Чита, 2012.

93. Кирплюк П.В. (отв. исп.) Прогноз распространения золоторудных объектов и других видов твердых полезных ископаемых на основе интерпретации потенциальных полей и данных дистанционного зондирования в пределах Читинского фрагмента Монголо-Охотского складчатого пояса. Отчет по договору № 07-12-06-11/22 от 10.01. 2007 г. с ООО «Востокгеология». Норильск, 2007.

94. Кирплюк П.В. (отв. исп.). Комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1:25 000 в юго-восточной части Читинской области. Отчет по договору № 12/93 от 23.03.2007 г. и дополнительному соглашению №1 от 28.08.07 г. с ООО «Востокгеология». Норильский филиал ВСЕГЕИ. – Норильск, 2008. – 170 с.

95. Меньшиков В.С., Истомин В.П. Отчет о результатах работ Аэрогеофизической партии в междуречье Газимура и Аргуни за 1959 год (аэрогеофизическая съемка – аэромагнитная и аэрогамма масштаба 1:50000). Отчет ЧГУ. Чита, 1960.

96. Николаенко М.П. и др. Оценка перспектив рудоносности Газимуро-Заводского района с составлением прогнозной карты масштаба 1:50000. Отчет ЧГУ. Чита, 1985.

97. Новченко С.А., Рутштейн И.Г., Космачева Г.П. и др. Геолого-геофизическое обобщение материалов аэрогеофизических работ на территории вдоль ж/д Нарын-Лугокан, Забайкальский край. Отчет ООО «Востокгеология»

по договору № нн/345-2013 от 06.06.2013 г с департаментом геологоразведки ОАО «ГМК «Норильский никель». – ООО «Востокгеология». – Чита, 2013. – 198 с.

98. Нуриев И.С. и др. Отчет Скарновой партии о результатах поисковых работ на рудное золото в пределах рудопроявления Железный Кряж за 1988-1994 гг. Отчет ПГО «Читагеология». Чита, 1994.

99. Петровская В.И и др. «Изучение вещественного состава и проведение технологических исследований лабораторно - технологических проб ЛТП ИН-1 и ЛТП ИН-2 золото – серебросодержащих железо – медных руд Култуминского месторождения», // ОАО «ЛИЦИМС» (отчет по НИР, договор № 12/214, от 08.05.2007), Чита, 2007. – 60 с.

100. Петровская В.И. и др. «Изучение вещественного состава и проведение технологических исследований лабораторно- технологических проб ЛТП ИН-4 золото – серебросодержащих железо - медных руд Култуминского месторождения» // ОАО «ЛИЦИМС» (отчет по НИР, договор № 88/08, от 21.01.2008). ОАО «ЛИЦИМС». Чита, 2008.

101. Ридер Э.Р. Бороносность территории Читинской обл. Отчет ЧГУ. Чита, 1963.

102. Ридер Э.Р., Швецов П.И. Окончательный отчёт о поисково-разведочных и геофизических работах Култуминской партии за 1954-60 гг. /ЧГУ. Чита, 1962. – 1034 с.

103. Родионов В.А. Изучить геологическое строение и вещественный состав руд месторождения Андрюшкино, оценить его перспективы и разработать направления ГРР. Отчет ЦНИГРИ. М. – 1989.

104. Рутштейн И.Г. Геологическая карта Читинской области. Масштаб 1:500000. ЧГУ. Чита, 1997. – 120 с.

105. Рутштейн И.Г., Ридер Э.Р., Анашкина К.К. и др. Металлогеническая карта Читинской области масштаба 1:500000. Отчет по теме № 15 за 1970 – 1977 г.г. ЧГУ. Чита, 1977. – 1488 с.

106. Сазонов В.Д., Аношкин В.Н. Изучение минералогии и генезиса новых типов золотосодержащих рудных месторождений Забайкалья с целью их прогнозной оценки на примере Лугоканского и Култуминского золото-полиметаллических месторождений. Отчет ЗабНИИ. Чита, 1982. – 237 с.

107. Самохин Н.П., Самохина Р.Н. Окончательный отчёт по разведке Верх-Петровского и Култумушинского месторождения россыпного золота и поискам по долине р. Газимур (включая притоки рч. Бошагоча, Очуногда, Аласуй, Гарджигуй) за 1970-76 гг. с подсчётом запасов по состоянию на 1 июля 1978 г. Курлеинская партия. /ЧГУ. Чита, 1978. – 176 с.

108. Сергеев А.Д., Гайворонский Б.А. Изучить нетрадиционные золоторудные объекты скарнового типа в Восточном Забайкалье (М-49, М-50, N-50) с оценкой прогнозных ресурсов и обоснованием первоочередных ГРР. Отчет по теме №352 за 2000-2002. – 2002.

109. Сергеев А.Д., Юргенсон Г.А. Вопросы рудоносности скарнов Приаргунья. Отчет ЗабНИИ. Чита, 1963.

110. Синица С.М., Турчинов И.А. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Восточно-Забайкальская. Лист N-50-XXXVI. Объяснительная записка. М.: Недра, 1968. – 68 с.

111. Усманов А.И. и др. Отчет Газимурской партии №327 за 1966 г. Отчет ППГХО. Чита, 1967.

112. Харитонов Ю.Ф., Баранов А.В. и др. ТЭО временных кондиций и подсчёт запасов меди, золота, серебра и железа на Култуминском месторождении по состоянию на 1.06.2008 г. Отчёт о результатах поисковых и оценочных работ в пределах Култуминского рудного поля за 2005-2008 гг. ООО «Восток-геология». Чита, 2008. – 179 с.

113. Шадрин А. И., Агафонцева И.С. Отчет о геолого-съёмочных и радиометрических работах Култуминской партии, проведенных в 1955-56 гг. в междуречье Газимур-Урюмкан-Будюмкана. /ЧГУ. Чита: 1957. – 129 с.

114. Шафиков А.Х., Харитонов Ю.Ф., Чернышова Н.Е. Отчет о результатах оценочных работ на северо-западном фланге Култуминского месторожде-

ния с подсчетом запасов меди, золота, железа и серебра. ООО «Востокгеология». Чита, 2013. – 128 с.

115. Шишаков В.Б., Сальников А.Е., Сергеева Н.Е. Изучение минерального состава рудопроявлений в пределах листа N-50-143. /ЦНИГРИ. М. – 1992. – 61 с.

116. Шостак Ю.М., Охлопкова М.Н. Окончательный отчет о результатах комплексных геолого-геофизических работ, проведенных Иркутлихинской партией в 1965-1969 гг. Отчет ЧГУ. Чита, 1970.

117. Шубкин С.П. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые среднего течения р.р. Газимур и Урюмкан. Отчёт Култуминской партии о результатах геологического доизучения масштаба 1:50 000, произведённого в 1989-1997 гг. на площади Будюмкано-Култуминского рудного района. Листы N-50-143-А, Б, В, Г. Казаковское ГГП. /ПГО «Читагеология». Чита, 1997. – 796 с.