


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий
институт

Геологии, минералогии и петрографии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 С.И. Леонтьев
подпись инициалы, фамилия
« дс » 06 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02 «Прикладная геология»
код и наименование специальности

21.05.02.04 «Прикладная геохимия, минералогия, петрология»
код и наименование специализации

Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд
месторождения золота Благодатное (Енисейский кряж)
(тема)

Руководитель  18.06.21 профессор, доцент, к.г.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

С.И. Леонтьев
инициалы, фамилия

Выпускник  11.06.21
подпись, дата

К.А. Папет
инициалы, фамилия

Рецензент 23.06.21
подпись, дата

О.Т. Русак
инициалы, фамилия

Красноярск 2021


Продолжение титульного листа ДП по теме: «Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский край)».

Консультанты по разделам:

Геологическая часть	<u>Сергей</u> 10.06.21 подпись, дата	доцент, к.г.-м.н. должность, ученая степень	<u>О.Ю. Перфилова</u> инициалы, фамилия
Петрография	<u>Сидоров</u> 10.06.21 подпись, дата	профессор, д.г.-м.н. должность, ученая степень	<u>А.М. Сазонов</u> инициалы, фамилия
Специальная часть	<u>Сидоров</u> 10.06.21 подпись, дата	профессор, доцент, к.г.-м.н. должность, ученая степень	<u>С.И. Леонтьев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>Полева</u> 19.06.21 подпись, дата	доцент, к.г.-м.н. должность, ученая степень	<u>Т.В. Полева</u> инициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий
Кафедра геологии, минералогии и петрографии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 С.И. Леонтьев
(подпись)
«14» мая 2021 г


**ЗАДАНИЕ
НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ**

Студенту Папст Кристина Андреевна
Группа ГТ 16-05 МГП Специальность 21.05.02 Прикладная геология
Специализация 21.05.02.04 «Геохимия, минералогия, петрология»
Тема ВКР: Геологическое строение, геохимическая характеристика пород
и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский край)
Утверждена приказом по университету №2126/с от 2021-05-13
Руководитель ВКР С.И. Леонтьев профессор, доцент, канд. геол.-
минерал. наук, заведующий каф. ГМиП ИГДГиГ СФУ

Исходные данные:

Перечень разделов: геологическая часть, специальная часть.

Перечень графических материалов: государственная геологическая карта
листа Р-46-XXXIII масштаба 1:200 000, геолого-литологическая карта масштаба
1:5000, разрезы к геолого-литологической карте масштаба 1:2000,
геохимические разрезы с распределением концентраций элементов.

Руководитель ВКР  профессор, доцент, к.г.-м.н. С.И. Леонтьев

Задание принял к исполнению  14.05.21.

К.А. Папст

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК выполнения ВКР

Студент Папст Кристина Андреевна

Группа ГТ 16-05 МГП

Тема ВКР в виде дипломной работы: Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский край).

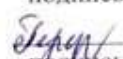
Руководитель дипломной работы С.И. Леонтьев профессор, доцент, канд. геол.- минерал. наук, заведующий каф. ГМиП ИГДГиГ СФУ

Консультант


подпись



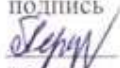
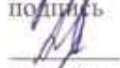
А.М. Сазонов

Консультант


подпись

О.Ю. Перфилова

Этап работы	Сроки выполнения		Вид отчетности	Оценка выполненного этапа	Подпись руководителя, консультанта
	по плану	фактически			
1	2	3	4	5	6
Разработка плана выполнения (ВКР)	13.03.21	13.03.21			
Подготовка библиографического списка литературы по теме	13.03.21	29.04.21			
Составление программы исследования	13.03.21	23.03.21			
Подготовка введения	13.03.21	23.03.21			
Подготовка первой главы	13.03.21	15.04.21		Исполнено	
Подготовка второй главы	15.04.21	15.05.21		Исполнено	
Подготовка третьей главы	15.04.21	31.05.21		Исполнено	
Подготовка четвертой главы	15.05.21	31.05.21			
Подготовка заключения	01.06.21	05.06.21			
Подготовка демонстрационных материалов	13.03.21	05.06.21			
Прохождения нормоконтроля					
Устранение отмеченных недостатков					
Получение отзыва научного руководителя	20.06.21	25.06.21			
Получение отзыва рецензента	20.06.21	28.06.21			
Получения допуска к защите от зав. кафедрой					
Получение допуска к защите от декана					
Подготовка доклада на защиту					
Защита ВКР в виде дипломной работы	01.07.21	01.07.21			

<i>Руководитель дипломной работы</i>	 подпись	С.И. Леонтьев
<i>Консультант</i>	 подпись	А.М. Сазонов
<i>Консультант</i>	 подпись	О.Ю. Перфилова
<i>Студент</i>	 подпись	К.А. Папет

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»
Институт горного дела, геологии и геотехнологий
Горно-геологический факультет
Кафедра ГМ и П
Раздел плана: геохимическая характеристика пород и руд.
Полезное ископаемое: золото.
Наименование объекта: месторождение «Благодатное»
Местонахождение объекта: Северо-Енисейский район, Красноярский край

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой ГМ и П

 С.И. Леонтьев

«14» мар 2021

Геологическое задание

На выполнение дипломной работы «Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский кряж)»

Основание выдачи геологического задания: задание на выполнение Выпускной квалификационной работы приказ №6126/с от 2021-05-13.

1. Целевое назначение работ:

2. Геологические задачи, последовательность и основные методы их решения:

2.1. Сбор геологической информации, коллекции пород и руд, результатов геохимического опробования по месторождению Благодатное;

2.2. Изучение шлифов и аншлифов;

2.3. Изучение геохимических особенностей пород и руд, включая исследование зональности

3. Ожидаемые результаты:

3.1. Геологическая характеристика района работ;

3.2. Геологическая характеристика месторождения Благодатное;

3.3. Геохимическая характеристика пород и руд.

Сроки выполнения работ: 16.03.2021 г. – 30.06.2021 г.

Научный руководитель



С.И. Леонтьев

Задание приняла



К.А.Папст

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский кряж)» содержит 91 страницу текстового документа, 31 внутритекстовых иллюстраций, 8 таблиц, 11 использованных источника, 6 графических приложений.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ, ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ, ГЕОЛОГИЯ РАЙОНА, ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД И ПОРОД.

Объект работ – месторождение Благодатное.

Цели работы:

- изучение геологического строения
- изучение геохимической характеристики пород и руд месторождения Благодатное, включающее геохимическую зональность рудного тела №1.

В результате выполнения работы изучены геохимические особенности пород и руд, выявлен общий ряд вертикальной зональности по РЛ 14, 18, 21, 24 и общий ряд латеральной зональности по рудному телу № 1.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ	12
2. ГЕОЛОГИЯ РАЙОНА.....	15
2.1. Изученность района месторождения.....	15
2.1.1. Геологическая изученность	15
2.1.2. Геофизическая изученность.....	18
2.3. Магматизм	27
2.4. Тектоника.....	30
2.5. Полезные ископаемые.....	32
3. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	34
3.1. Литолого-стратиграфическая характеристика пород месторождения	34
3.2. Интрузивные породы.....	40
3.3. Структура рудного поля.....	41
3.4. Характеристика рудных тел.....	44
4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД И РУД	47
4.1. Методическая часть	47
4.1.1. Расчет коэффициентов концентрации элементов	48
4.1.2. Расчет коэффициентов корреляции	49
4.1.3. Исследование геохимической зональности	50
4.1.4. Построение геохимических разрезов.....	58
4.2. Результаты исследования	59
4.2.1. Статистическая обработка данных	59
4.2.2. Корреляционный анализ	63
4.2.3. Геохимическая зональность.....	66
4.2.4. Построение геохимических разрезов на примере РЛ 24	69
4.2.5. Изучение латеральной зональности на примере РЛ 14, 21 и 24	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	85

ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А Государственная геологическая карта Российской Федерации.
Енисейская серия. Лист Р-46-XXXIII.

- Приложение Б Геолого-литологическая карта месторождения Благодатное
- Приложение В Результаты статистической обработки данных
- Приложение Г Характер распределения концентраций элементов
типоморфного комплекса на примере РЛ-24
- Приложение Д Геохимические разрезы для главных рудных элементов
типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24
- Приложение Е Геохимические разрезы для главных рудных элементов
типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность имеет важное значение для экономики страны. В условиях рынка преимущество получил открытый способ разработки как наиболее экономичный и безопасный. Добыча золота одна из ведущих отраслей экономики России. Основная масса драгоценного металла извлекается из руды, добываемой на коренных месторождениях. Одним из регионов с широко распространенными месторождениями коренного золота является Енисейский кряж, на территории которого находится золоторудное месторождение Благодатное. Месторождение расположено в Северо-Енисейском районе Красноярского края и выявлено в 1966 -1967 гг

Актуальность работы заключается в исследовании зональности северо-западного участка на глубокие горизонты, т.к. предшественниками изучение проводилось для верхних горизонтов.

Цели и задачи исследования. Целью работы является изучение геохимических характеристик пород и руд месторождения Благодатное.

Задачами работы являются:

1. Изучение геологического строения района Благодатного месторождения.
2. Изучение геологического строения месторождения Благодатное.
3. Петрографическая характеристика пород.
4. Изучение геохимической характеристики пород и руд

Фактический материал, методы исследования и личный вклад. Отчет по выпускной квалификационной работе выполнен на основе материалов, предоставленных кафедрой ГМиП ИГДГиГ СФУ. Для работы были предоставлены шлифы и аншлифы, данные спектрального и пробирного анализов элементов, геологический план поверхности месторождения Благодатное, составленный В.В. Журавлевым 1:5 000 масштаба, разрезы по разведочным линиям рудного тела № 1.

Научная новизна полученных результатов. Получены новые данные о геохимической зональности рудного тела № 1.

Практическая значимость. Работа направлена на изучение геохимической зональности рудного тела № 1.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников, который содержит 9 наименований. Общий объем 87 страниц, 3 графических приложений.

В первой главе описывается общая географо-экономическая характеристика района работ.

Во второй главе описывается геология района, включающая ранее проведенные работы, стратиграфию, магматизм, тектонику и краткую характеристику полезных ископаемых.

В третьей главе описывается геологическая характеристика месторождения Благодатного, которая содержит литолого-стратиграфическую характеристику пород, описание интрузивных пород, структуру рудного поля и характеристику рудных тел.

Четвертая глава содержит геохимическую характеристику пород и руд.

1. ГЕОГРАФО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Месторождение Благодатное расположено в Северо-Енисейском районе Красноярского края в 36 км к юго-западу от п.г.т. Северо-Енисейск в соответствии с рисунком 1.1.

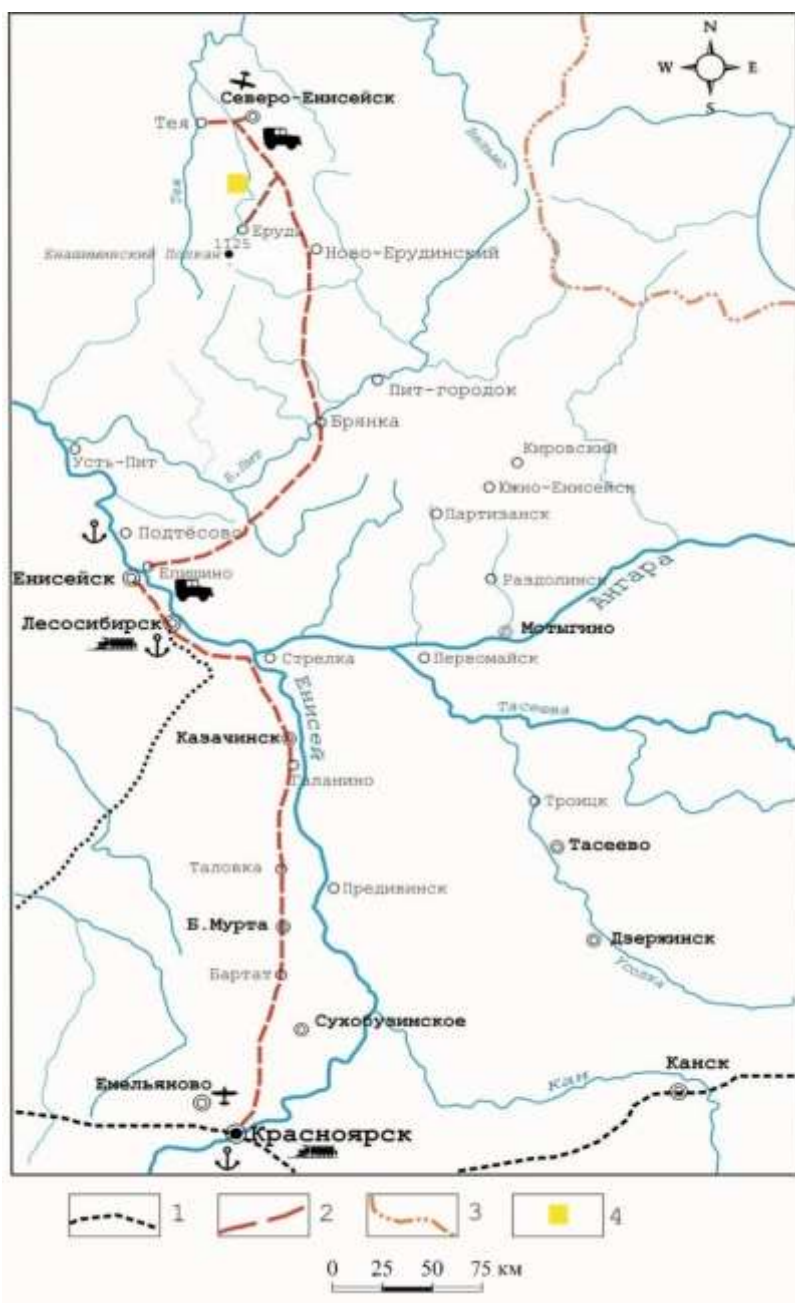


Рисунок 1.1 - Обзорная карта района работ

Рельеф района работ низко-среднегорный, сложно расчлененный с плоскими водоразделами и глубоко врезанными тальвегами долин. Колебание абсолютных отметок водоразделов находится в пределах 400-750 м, наивысшая отметка (1125 м) принадлежит г. Енашиминский Полкан. Относительные превышения долин рек и ручьев составляют 250-300 м, реже они достигают 500-600 м [2].

Гидросеть. Главными водными артериями района являются реки Нойба, Чингасан, Уволга, Енашимо. Для водного режима рек, стекающих с Енисейского кряжа и расположенных в лесной зоне, характерно весеннее половодье и небольшие дождевые паводки в летне-осенний период, низкая зимняя межень. Реки имеют смешанное питание, с преобладанием снегового. Средняя продолжительность ледовых явлений составляет 212-218 дней. Глубина сезонного промерзания грунта 0,5-2,0 м. Многолетняя мерзлота встречается в заболоченных долинах с мощным моховым покровом [2].

Климат района работ резко континентальный с характерной суровой и продолжительной зимой и коротким летом. Среднегодовая температура $-4,0^{\circ}\text{C}$. Наиболее холодным месяцем является январь со среднемесячной температурой $-21,6^{\circ}\text{C}$, а самым теплым – июль со среднемесячной температурой $+16,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температур $+39^{\circ}\text{C}$ отмечался в июне, а минимум -67°C в феврале. В теплый период года выпадает большая часть осадков. Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 100 дней [2].

Животный мир типичен для горно-таежной местности. Встречаются медведь, россомаха, рысь, соболь, колонок, горностай, белка, бурундук, летяга, различные землеройки и полевки.

Растительный мир. Растительность района горно-таежная с типичными хвойными и лиственными деревьями. Кустарники распространены в основном в долинах рек и ручьев.

Основой экономики Северо-Енисейского района является золотодобывающая промышленность. В настоящее время эксплуатируется

четыре золоторудных месторождения: Олимпиадинское, Титимухта, Благодатное и Эльдорадо. Первые три месторождения обрабатываются ЗАО «Полюс» открытым способом – карьерами. Месторождение Эльдорадо обрабатывается открытым способом ООО «Соврудник».

Перевозка оборудования и доставка людей в район осуществляется как наземным, так и воздушным транспортом. Ближайшая железнодорожная станция расположена в г. Лесосибирске. Технические грузы перевозятся в навигацию речным транспортом, в зимнее время – по зимнику. Основным источником энергоснабжения является государственная ЛЭП-110 км от Назаровской ГРЭС. Водоснабжение производственного комплекса осуществляется за счет подземных вод ручья Широкого, находящегося в 8 км южнее месторождения Благодатного [2].

2. ГЕОЛОГИЯ РАЙОНА

2.1. Изученность района месторождения

2.1.1. Геологическая изученность

Благодатное золотое рудопроявление было выявлено в 1966-1967 гг. геологами Северной ГРЭ Красноярского Геологического Управления, при проведении литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния мышьяка в соответствии с рисунком 2.1. Поисковые работы были продолжены Северной ГРЭ в 1973-1976 гг. В результате поисковых работ, выше ручья Благодатного, было оконтурено три рудных тела, по ним подсчитаны прогнозныe ресурсы в количестве 36,6 т золота, при среднем содержании золота в руде - 1,5 г/т, и дано перспективное направление дальнейших поисков: до устья ручья Благодатного и ниже в долину р. Енашимо [2].

Геологоразведочные и поисковые работы на месторождении были возобновлены в 2000 г. ГРП ЗАО «Полюс», в результате которых выявлена мощная жильно-прожилковая зона с золоторудной минерализацией протяженностью более 3 км, которая по условиям ее залегания была разделена на две рудные зоны: северную (нагорная часть) и южную (долинная часть). В пределах рудных зон по разведочным кондициям оконтурены два мощных рудных тела с многочисленными апофизами и линзами [2].

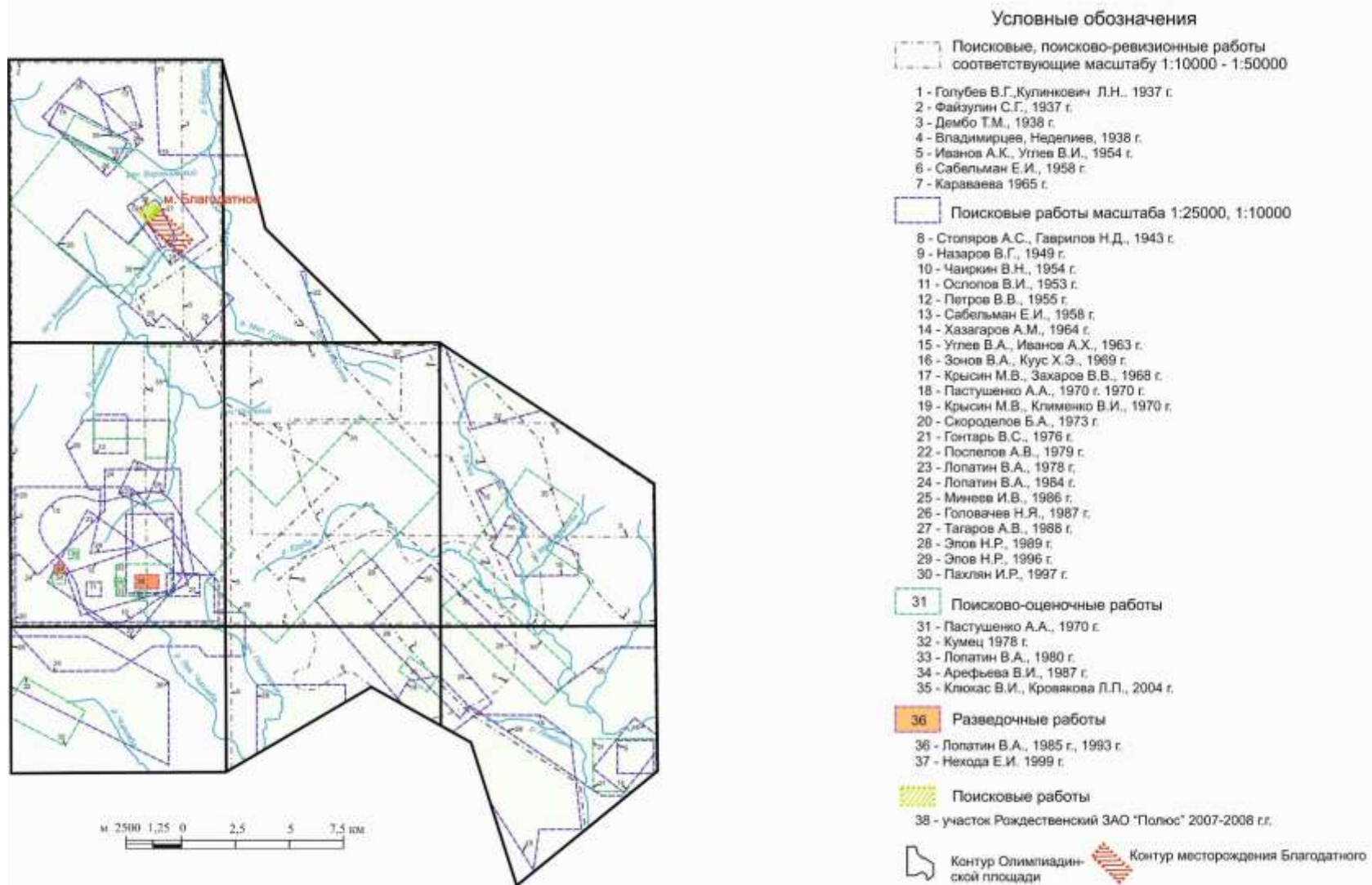


Рисунок 2.1 – Геологическая изученность района раб

Месторождение Благодатное признано разведанным и подготовленным к отработке (протокол ГКЗ №1081) по результатам работ 2000-2004 гг. На месторождении были подсчитаны и утверждены балансовые запасы. Дополнительно были подсчитаны и апробированы запасы бедных забалансовых руд в контуре карьера.

В 2005 г. месторождение Благодатное было признано крупным по масштабам, по степени изученности - разведанным и подготовленным к промышленной отработке.

С 2006 г. по 2008 г. на месторождении Благодатном проведена доразведка известных рудных тел с целью повышения достоверности ранее подсчитанных запасов. Также в этот промежуток времени был подтвержден вещественный состав, технологический тип руд, уточнена схема их переработки и сделана оценка технологической возможности переработки бедных забалансовых руд методом кучного выщелачивания [6].

После доразведки месторождения в 2006-2008 гг. запасы были пересчитаны и переутверждены 12 сентября 2008 г. в ТКЗ г. Красноярск (филиал ФГУ «ГКЗ») в следующем количестве: балансовые – 309,8 т, забалансовые в контуре карьера – 63,8 т, забалансовые за контуром карьера – 96,3 т [2].

Результаты разведки не изменили тип месторождения, группу сложности его геологического строения, структуру и морфологию рудных тел, а также качество полезного ископаемого и технологические свойства руд.

По результатам разведки 2006-2008 гг. был составлен отчет с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2008 г. с утверждением запасов в ТКЗ Красноярскнедра.

В 2008 г А.А. Стороженко и Н.Ф. Васильевым была составлена Государственная геологическая карта листа Р-46-XXXIII 1:200 000 масштаба второго поколения.

2.1.2. Геофизическая изученность

Площадь работ достаточно полно исследована геофизическими методами, в том числе аэрогаммаспектрометрией, аэромагниторазведкой, электроразведкой, магниторазведкой и гравиразведкой в соответствии с рисунком 2.2.

С конца 40-х годов проводились аэрогеофизические съёмки района под руководством Херувимова М.А., Массова Н.В., Чепик А.Ф.. Целью съёмки были поиски железных руд, радиоактивного сырья и других полезных ископаемых [8].

В процессе выполнения съёмочных работ с середины 50-х годов Ослоновым Ю.В. проводились радиометрические съёмки, в результате которых был выявлен ряд радиоактивных аномалий [2].

В период с 1967 по 1969 гг. были проведены комплексные геофизические исследования, которые включали в себя магниторазведку масштаба 1:10 000-1:2 000 и электроразведку методами ВЭЗ, ДЭП ЕЭП масштаба 1:25 000 (Мукомело и др., 1967-68 гг; Мукомело и др., 1968-69 гг). В результате работ были проверены и выделены аномальные зоны, перспективные на обнаружение золотоносных кварцевых жил. Горно-буровыми работами, проведенными в 1971-1973 гг. северной ГРП, была подтверждена эффективность выполненных работ. Выделенные кварцево-жильные зоны пространственно совпадают с магнитными аномалиями и контролируются тектоническими нарушениями, которые были установлены геофизическими методами. Впервые была установлена связь между пирротиновой минерализацией и золотым оруденением [2].

Проведенные в этот период геофизические работы были ориентированы на уточнение структурно-тектонического и геологического строения рудного узла и выделения перспективных участков для постановки поисковых работ.

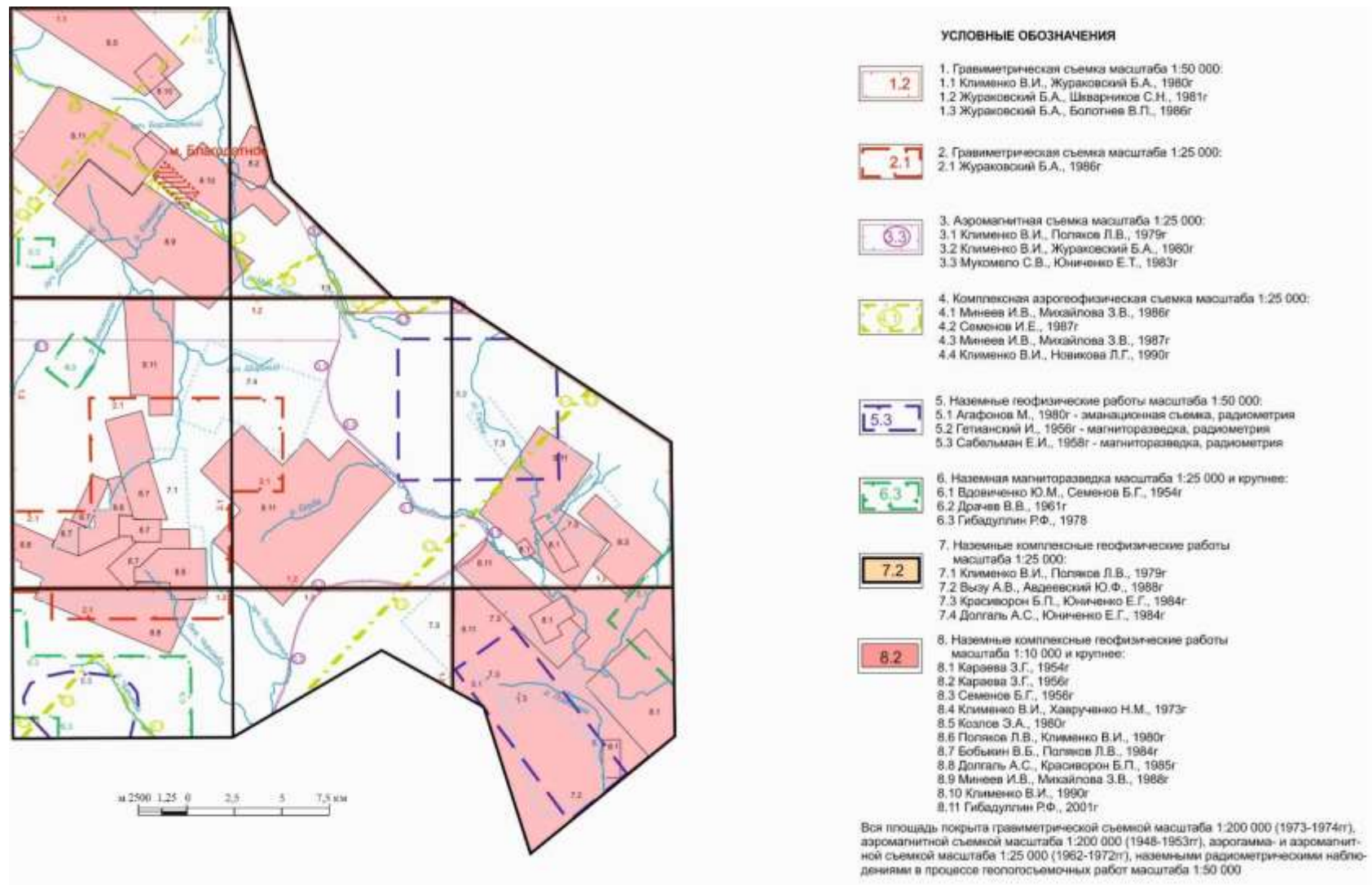


Рисунок 2.2. – Геофизическая изученность района работ

В ходе поисково-оценочных работ ГРП ЗАО «Полюс» в 1999-2001 гг. под руководством Р.Ф.Гибадуллина на Олимпиадинской площади проводились опережающие геофизические съёмки масштаба 1:10000 на поисковых участках. Работы выполнялись методами магниторазведки и электроразведки СЭП, ВЭЗ, МПП [2].

По заказу ЗАО «Полюс» Норильским филиалом ВСЕГЕИ в 2004 году на Олимпиадинской площади была выполнена комплексная аэрогеофизическая съёмка масштаба 1:25000 с новейшим аэрокомплексом КАС. По итогам работ построен набор кондиционных карт аномального магнитного поля, гамма-поля содержаний тория, урана, калия и теплового поля в ИК–диапазоне. Как следствие была создана геофизическая основа нового поколения на территорию Олимпиадинской лицензионной площади.

Данные поля, а также аэромагнитные и гравиметрические материалы (из банка «Гравимаг»), в сочетании со спектрзональными космическими снимками Landsat, легли в основу современного прогноза золоторудных объектов на данной территории [2].

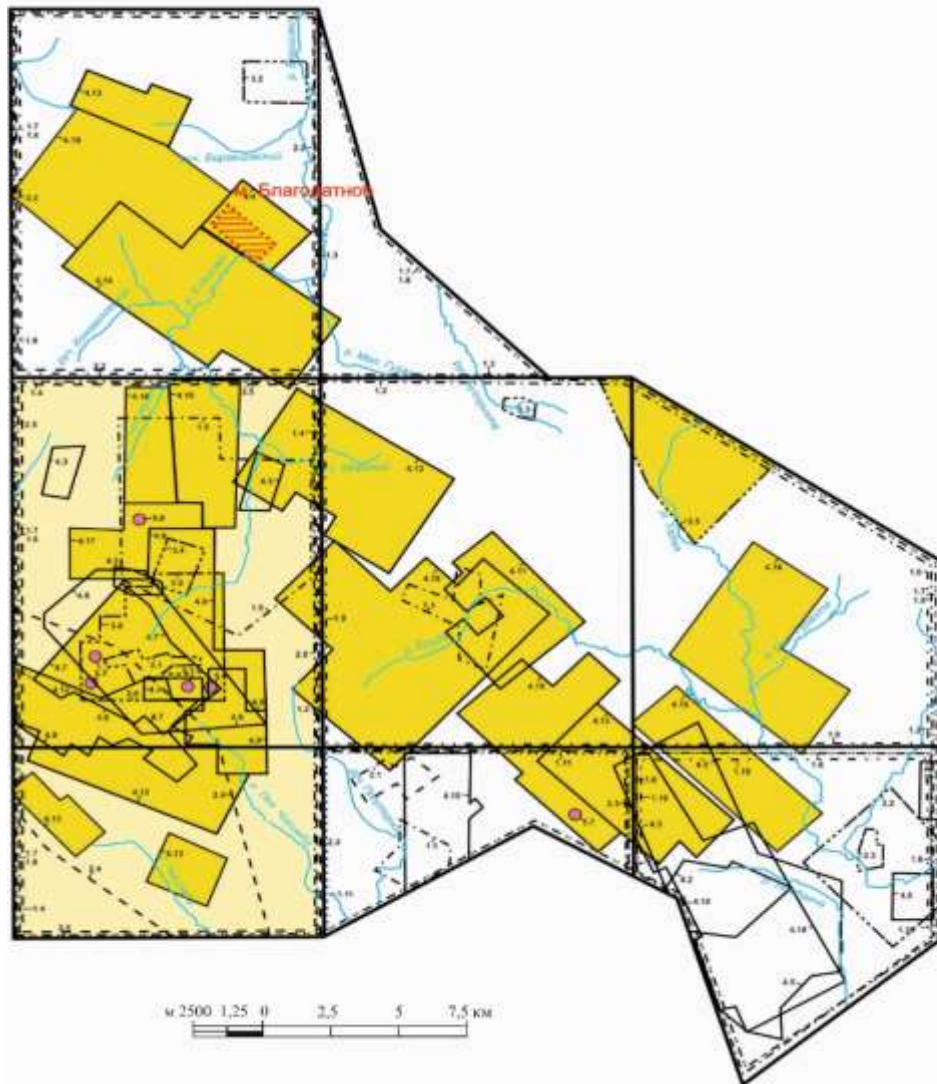
В рамках Олимпиадинского проекта в 2007 году проводились наземные геофизические работы методами ЕП, магнитометрии и ВП 2D (электротомографии) на следующих участках: Титимухтинский, Рождественский, Таловский, Киркиловской и Полканский площади [2].

2.1.3. Геохимическая изученность

Впервые геохимические методы поисков на Олимпиадинской площади были применены В.М. Чаиркиным в процессе поисково-разведочных и ревизионных работ на редкие металлы в 1952-1953 гг. в соответствии с рисунком

2.3.

Условные обозначения



Геохимические поиски масштаба 1:100000

по вторичным литохимическим ореолам рассеяния:

- 1.1. Иванов А.Х., Углев В.А., 1955
- 1.2. Комов И.Л., Варуха В.Л. и др., 1962
- 1.3. Ольшанский Ю.В., Ямбаева М.З. и др., 1962
- 1.4. Комов И.Л., Томилович Г.С. и др., 196;
- 1.5. Романовская А.Р., Пузанов А.А. и др., 1985

по литохимическим потокам рассеяния:

- 1.6. Вызу А.И., Авдеевский Ю.Ф. и др., 1983
- 1.7. Романовская А.Р., Пузанов А.А. и др., 1985

по шлихгеохимическим потокам рассеяния:

- 1.8. Загоскин В.А., Загоскина А.И. и др., 1985
- 1.9. Цельковский А.Ф., Козлов П.С. и др., 1980

по гидрогеохимическим потокам рассеяния:

- 1.10. Вызу А.И., Авдеевский Ю.Ф. и др., 1983
- 1.11. Хисамутдинов А.Б., Вызу М.Н. и др., 1979

Геохимические поиски масштаба 1:50000

по вторичным литохимическим ореолам рассеяния:

- 2.1. Иванов А.Х., Углев В.А., 1955
- 2.2. Крысин М.В., Захаров В.В. и др., 1968
- 2.3. Хисамутдинов А.Б., Вызу М.Н. и др., 1979
- 2.4. Романовская А.Р., Пузанов А.А. и др., 1985
- 2.5. Хисамутдинов А.Б., Авдеевский Ю.Ф. и др., 1991

Геохимические поиски масштаба 1:25000

по вторичным литохимическим ореолам рассеяния:

- 3.1. Чаиркин В.М., 1954
- 3.2. Караваева З.Г., Михайлов Э.В. и др., 1957
- 3.3. Комов И.Л., Варуха В.Л. и др., 1962
- 3.4. Лопатин В.А., Арефьева В.И. и др., 1978
- 3.5. Поспелов А.В., Белогуб А.Г. и др., 1979
- 3.6. Загоскин В.А., Загоскина А.И. и др., 1985

Геохимические поиски масштаба 1:10000

по вторичным литохимическим ореолам рассеяния:

- 4.1. Драчев В.В., 1960
- 4.2. Комов И.Л., Варуха В.Л. и др., 1962
- 4.3. Комов И.Л., Томилович Г.С. и др., 1965
- 4.4. Крысин М.В., Клименко В.И., 1970
- 4.5. Пастушенко А.А., Клименко В.Л. и др., 1970

4.6. Скорodelов Б.А., Вяткин Б.Е. и др., 197

4.7. Лопатин В.А., Арефьева В.И. и др., 197

4.8. Лопатин В.А., Арефьева В.И., 1980

4.9. Поляков Л.В., Клименко В.И. и др., 1980

4.10. Вызу А.И., Авдеевский Ю.Ф. и др., 1983

4.11. Бобыкин В.В., Поляков Л.В. и др., 1984

4.12. Долгаль А.С., Юнченко Е.Т. и др., 198

4.13. Головачев Н.Я., Пахлян И.Р. и др., 198

4.14. Минеев И.В., Михайлов З.В. и др., 198

4.15. Эпов Н.Р., Шрайнер А.Д. и др., 1989

4.16. Хисамутдинов А.Б., Авдеевский Ю.Ф. и др., 1991

4.17. Эпов Н.Р., Головачев Н.Я. и др., 1996

4.18. Пузанов А.А., 2001

4.19. Эпов Н.Р., Шрайнер А.Д. и др., 1989

4.20. Эпов Н.Р., Головачев Н.Я. и др., 1996

Площади, опробованные на золото

при геохимических поисках масштаба 1:50000

при геохимических поисках масштаба 1:25000 - 1:10000

Рисунок 2.3. – Геохимическая изученность района работ

В 1965-1967 гг. под руководством М.В. Крысина при проведении геологической съемки масштаба 1:50000 в районе были осуществлены литогеохимические поиски по вторичным ореолам по сети 500x100 м. В результате были выявлены аномалии молибдена, мышьяка, циркония, олова, меди, лантана [2].

В 1968-1970 гг. под руководством М.В. Крысина литогеохимической съемкой был выявлен (масштаб 1:50000) и детализирован (масштаб 1:10000) контрастный ореол золота протяженностью 1750 м в районе г. Благодатной.

В 1972 г. под руководством И.А. Скорodelова в процессе ревизионных работ на перспективных участках была проведена съемка по вторичным ореолам по сети 100x20 м. Выявлен ряд комплексных геохимических аномалий вольфрама, сурьмы, молибдена и мышьяка, рекомендованных для проверки [2].

Под руководством И.Ф. Загоскина в 1986 году в северной части рудного поля была проведена комплексная геохимическая съемка по потокам рассеяния. В результате были выявлены обширные ореолы золота, ртути и мышьяка, а также разработан комплекс поисковых геохимических методов для условий горно-таежной местности [2].

2.2. Стратиграфия

Расчленение разреза приводится по геологической карте А.А. Стороженко и Н.Ф. Васильева 2008 г масштаба 1:200 000 в соответствии с приложением А..

2.2.1. Протерозойская акротема (PR).

К отложениям протерозойского возраста относится тейская серия.

2.2.1.1. Раннепротерозойская эонотема (PR₁)

Тейская серия включает свиту хребта Карпинского (PR_{1hk}) и рязановскую свиту (PR_{1rz}).

Свита хребта Карпинского (PR_{1hk}) распространена в южной части листа. К этой свите отнесены серые кристаллические высокоглиноземистые двуслюдяные сланцы с разным соотношением граната и ставролита, а также линзовидные прослои (0,1-2 м) светло-серых и белых кварцитов. Мощность свиты составляет 800-900 м [10].

Рязановская свита (PR_{1rz}) распространена в южной части листа. Данная свита расчленяется на две пачки – нижнюю и верхнюю.

Нижняя пачка (PR_{1rz}¹) сложена мраморами, амфиболитами, серыми кристаллическими биотит-гранатовыми сланцами и кальцифирами. Мощность 700-800 м.

Верхняя пачка (PR_{1rz}²) сложена кварц-плагиоклаз-биотитовыми серо-зелеными сланцами, иногда с пачками ритмичного переслаивания (10 мм) темно-серых слюдястых и светло-серых алевро-псаммитовых слоев, кальцифирами. Мощность свиты составляет менее 800 м.

2.2.1.2. Рифейская эонотема (RF)

К отложениям рифейского возраста относятся следующие серии: сухопитская (кординская, горбилокская, удерейская и погорюйская свиты) и орловская (иончихинская толща), чингасанская (лопатынская свита, карьерная свита, чивидинская свита), чапская (суворовская свита, подъемная свита, немчанская свита).

Сухопитская серия включает условно кординскую (RF_{kd})?, горбилокскую (RF_{2gb}), удерейскую (RF_{2ud}) и погорюйскую (RF_{2pg}) свиты.

Кординская свита (RF_kd)? распространена в северо-западной и юго-восточной частях листа. Кординская свита сложена сероцветными сланцами биотит-серицит-кварцевыми алевритовыми, с прослоями метаалевропесчаников в кровле, в средней части разреза известковистые, в основании – пачки, пласты, линзы, прослой метапесчаников аркозовых, кварцевых, метагравелитов и метаконгломератов. Мощность свиты колеблется от 900 до 1100 м [10].

Горбилочская свита (RF₂gb) распространена в северо-западной части листа. В своем составе содержит серицит-хлорит-кварцевые алевритистые серо-зеленые сланцы, иногда магнетитосодержащие. Мощность свиты составляет 600-700 м [10].

Удере́йская свита (RF₂ud) распространена в северо-восточной части листа. Удере́йская свита расчленяется на нижнюю, среднюю и верхнюю подсвиты.

Нижняя подсвита (RF₂ud₁) сложена сланцами серицит-углеродистыми темно-серыми, в нижней части разреза в тонком ритмичном переслаивании с метаалевролитами. Мощность 450-500 м.

Средняя подсвита (RF₂ud₂) сложена сланцами хлорит-серицитовыми зелеными, зелено-серыми, прослоями карбонатсодержащими. Мощность 550-600 м.

Верхняя подсвита (RF₂ud₃) сложена серицитовыми углеродистыми темно-серыми до черных сланцами, в кровле тонкие прослой метаалевролитов и метапесчаников. Мощность 600-650 м [10].

Погорюйская свита (RF₂pg) также распространена в северо-восточной части листа и представлена ритмичным переслаиванием хлорит-серицитовых зеленовато-серых и серых сланцев, метаалевролитов, метапесчаников, прослой (0,2-5 м) метапесчаников и кварцитов желтых и светло-серых. Мощность свиты составляет 1000-1200 м [10].

Орловская серия включает иончихинскую толщу (RF₃in).

Иончихинская толща (RF_{3in}) представлена сланцами кварц-хлорит-серицитовыми, хлоритоидными, гидрослюдистыми, углеродистыми, карбонатными, мраморизованными доломитами и известняками, метабазами и их туфами, метадацитами. Мощность более 800 м.

Чингасанская серия включает лопатинскую (RF_{1lp}), карьерную (RF_{3kr}) и чивидинскую (RF_{3čv}) свиты близкого литологического состава [10].

Эти свиты распространены по всей площади листа и представлены красноцветными, зеленовато-серыми, светло-серыми песчаниками и алевролитами, гравелитами. Мощность лопатинской свиты 100-950 м, карьерной свиты 500-600 м, чивидинской свиты 370-670 м [10].

Чанская серия включает суворовскую, подъемную и немчанскую свиты

Суворовская свита (RF_{3sv}) распространена в северной части листа. Сложена гравелитами, песчаниками, конгломератами, алевролитами, желтыми и красноцветными аргиллитами. Мощность 150-690 м [10].

Подъемная свита (RF_{3pd}) распространены на всей площади листа и ориентировка структур в северо-западном направлении. Представлена доломитами, серыми известняками, часто онколитовыми и строматолитовыми. Прослой кварцевых песчаников, гравелитов, алевролитов и аргиллитов. Мощность свиты составляет 150-670 м [10].

Немчанская свита (RF_{3nt}) распространена в северной части листа и представлена песчаниками, гравелитами, алевролитами, конгломератами красно-бурыми; линзами светло-серых доломитов, мергелей. Мощность свиты составляет более 400 м [10].

Вендская – Кембрийская система (V -Є)

Лебяжинская свита (V₂ - Є_{1lb}) распространена в северо-восточной части площади. Лебяжинская свита представлена серыми и темно-серыми

доломитами, известковистыми зеленовато-голубыми песчаниками. Мощность составляет более 400 м [10].

2.2.2.2. Фанерозойская эонотема

Палеозойская эратема (PZ)

К отложениям палеозойского возраста относится оленчиминская свита кембрийской системы.

Кембрийская система. Средний отдел (Є₂)

Оленчиминская свита (Є_{2ol}) распространена в северо-восточной части площади. Сложена доломитами, мергелями, алевролитами красно-бурыми. Мощность более 30 м [10].

Кайнозойская эратема (KZ)

К отложениям кайнозойского возраста относятся бельская свита палеогеновой системы, кирнаевская свита неогеновой системы и отложения квартера.

Палеогеновая система (P)

Бельская свита (P₃ – N_{1bl}) распространена в восточной части листа и представлена красновато-коричневыми, желтыми, пятнистыми плотными глинами. Мощность свиты составляет менее 10 м [10].

Неогеновая система (N)

Кирнаевская свита (N_{1-2kr}) распространена в восточной части площади и представлена желтыми и серыми глинистыми песками, гравием, щебнем. Мощность менее 3 м в карстовых просядках - 27 м [10].

Квартер (Q)

Расчленяется на неоплейстоцен и голоцен. Неоплейстоцен, в свою очередь, делится на среднее и верхнее звенья. Среднее звено представлено тобольским и самаровским; ширтинским и тазовским горизонтами. Верхнее звено представлено следующими горизонтами: казанцевским и муруктинским, каргинским и сартанским, сартанским.

У всех горизонтов близкий литологический состав: преимущественно это аллювиальные отложения, представленные галечниками, песками, валунниками, глинами, гравием, супесями, суглинками [10].

2.3. Магматизм

2.3.1. Заангарский геологический район

В пределах Заангарского района выделяется Тейско-Вороговская геологическая площадь, на которой откартированы образования следующих комплексов: немтихинский (AR_2nt), малогаревский ($AR_2?mg$), шумихинский ($v\beta AR_2?s$), ерудинский ($p\gamma gPR_1e$), гаревский (γgPR_1g).

2.3.1.1. Тейско-Вороговская геологическая площадь

Немтихинский метаморфический комплекс (AR_2nt) распространен в юго-западной части листа. Представлен биотитовыми, биотит-

роговообманковыми, гранат-силлиманитовыми, диопсид-гиперстен-роговообманковыми плагиогнейсами; встречаются редкие тела амфиболитов [8].

Малогаревский метаморфический комплекс ($AR_2?mg$) распространен в северо-западной и юго-восточной частях листа. Представлен амфиболитами, биотитовыми гнейсами, полевошпатсодержащими кристаллостанцами, мраморами и кальцифирами [10].

Шумихинский метапикрит-матезальтовый комплекс ($v\beta AR_2?g$) Субвулканические образования слагают площадь в юго-восточной части листа, размеры образований составляют 1х4 км. Состоят субвулканические образования преимущественно из ортоамфиболитов [10].

Ерудинский плагиогранит-плагиогранитогнейсовый комплекс ($\gamma g PR_{1e}$) распространен в южной части площади и включает среднезернистые плагиогранитогнейсы, размеры интрузий от первых до 10 км [10].

Гаревский гранит-гранитогнейсовый ультраметаморфический комплекс (γPR_{1g}) распространен в южной и северо-западной частях территории. Комплекс расчленяется на две фазы. Первая фаза ($\gamma g PR_{1g1}$) представлена гранитогнейсами микроклиновыми биотитовыми, биотит-амфиболовыми; вторая фаза (γPR_{1g2}) - белыми пегматоидными гранитами. Размеры интрузий от 1х2 до 4х8 км [5, 10].

2.3.2. Ангаро-Тунгусский геологический район

В пределах Ангаро-Тунгусского района выделяется Тейско-Чиримбинская геологическая площадь, на которой откартированы образования татарско-аяхтинского комплекса (γRF_{3ta2}).

2.3.1.2. Тейско-Чиримбинская геологическая площадь

Татарско-аяхтинский гранитовый комплекс (γRF_{3ta}) распространен в восточной части листа. Комплекс является двухфазным – первая фаза представлена гранитодиоритами и крупнозернистыми гранитами, вторая фаза – мелко- и среднезернистыми мелкопорфировыми гранитами, размеры интрузий до первых десятков км [10].

2.3.3. Верхневороговско-Шишинский геологический район

В пределах Верхневороговско-Шишинского района выделяются следующие комплексы: орловский ($\nu\beta RF_{3o}$), ковригинский ($\gamma\pi RF_{3k}$), глушихинский (γRF_{3g}).

Орловский базальт-андезит-риолитовый комплекс ($\nu\beta RF_{3o}$) распространен в северо-западной части листа и представлен субвулканическим телом, состоящим из метагаббро размером 2х4 км. Кроме того, наблюдаются дайки метагаббро [10].

Ковригинский риолит-лейкобазальтовый комплекс ($\gamma\pi RF_{3k}$) распространен в южной части листа. Является двухфазным, на изученной площади выделяется только первая фаза ($\gamma\pi RF_{3k1}$), представленная дайками гранит-порфиров протяженностью около 1 км [10].

Глушихинский лейкогранитовый комплекс (γRF_{3g}) распространен в южной части листа. Является двухфазным. Первая фаза (γRF_{3g1}) представлена порфировидными биотитовыми лейкогранитами размерами от 2 до первых десятков км [10].

2.3.4. Тейский геологический район

В пределах Тейского района выделяется захребетнинский комплекс ($\tau\beta RF_{3z}$).

Захребетнинский комплекс щелочных трахитов-трахибазальтов ($\tau\beta RF_{3z}$) распространен в юго-восточной и северо-западной частях листа. К

захребетнинскому комплексу отнесены многочисленные маломощные дайки трахидолеритов протяженностью от одного до первых десятков км, которые отнесены к первой фазе комплекса ($\tau\beta RF_{3z1}$) [10].

2.3.5. Тейско-Кутукацкий геологический район

В пределах Тейско-Кутукацкого района выделяется Чапская геологическая площадь, на которой откартированы образования средневороговского ($E\gamma RF_{3sv2}$) и чапинского ($T\omega RF_{3\check{c}}$) комплексов.

2.3.1.3. Чапская геологическая площадь

Средневороговский щелочно-гранит-сиенитовый комплекс ($E\gamma RF_{3sv}$) распространен в северо-западной части листа. Комплекс расчленяется на две фазы. Первая фаза ($E\gamma RF_{3sv1}$) представлена дайками щелочных кварцевых сиенитов, вторая фаза ($E\gamma RF_{3sv2}$) - щелочными гранитами и дайками щелочных лейкократовых гранитов [10].

Чапинский комплекс щелочных пикритов ($T\omega RF_{3\check{c}}$) занимает северо-западный угол площади и представлен субвулканическими образованиями. Трубки взрыва, сложенные щелочными пикритами, авгититами и лимбургитами. Дайки пикритов, авгититов и лимбургитов протяженностью около 1 км [10].

2.4. Тектоника

На площади листа можно выделить три структурных этажа: автохтон, аллохтон и наложенные впадины [10].

В тектоническом строении территории выделяется автохтон, распространенный в юго-западной и северо-восточной части площади. Крупнейшими структурами автохтона являются: Тейский гранито-гнейсовый купол, Юхтовик-Нерикский блок, Левойнобинский блок, Усть-Оллоноконский блок, Оллоноконско-Григорьевский блок [10].

На автохтонные образования с северо-запада надвинут мощный аллохтон, состоящий из ряда тектонических пластин.

На структуры первого и второго этажей наложены впадины: Тейская впадина и Уволжский грабен.

В пределах Тейской впадины выделяются крупные пликативные структуры: Дюбокшская синклиналь, Чивидинская антиклиналь, Верхне-Чивидинская синклиналь, Ермаковская синклиналь, Усть-Вандадынская синклиналь, Дюбкошская грабен-синклиналь, Нойбинско-Тейская моноклиналь. Эти структуры занимают преимущественно верхнюю и центральную часть листа [10].

В пределах Уволжского грабена выделяются: Димгано-Итуйская антиклиналь, Большеитуйская синклиналь, Усть-Ногатинская синклиналь и Индольско-Коноваловская синклиналь, занимающие западную часть площади [10].

На площади листа отмечаются разрывные нарушения, ориентировка большинства которых северо-западная. Среди них наблюдаются взбросы и надвиги. Крупнейшими из взбросов являются Чингасан-Енашиминский и Димгано-Тырыдинский, а среди надвигов Немчанский и Индольский. Кроме того, отмечаются мелкие разломы неустановленной морфологии, ориентировка которых северо-западная, субширотная. В зонах разрывных нарушений наблюдается интенсивная тектоническая расщеповка, образование катаклазитов и милонитов, иногда наблюдается перекристаллизация милонитов и образуются бластомилониты [10].

2.5. Полезные ископаемые

Основным полезным ископаемым площади является золото. Значительными ресурсами обладает уран, свинец и цинк образуют перспективное проявление среднего масштаба и ряд контрастных вторичных литохимических ореолов рассеяния. Кроме того, на площади есть пункты минерализации и ореолы рассеяния ванадия, меди, никеля, вольфрама, молибдена, олова, мышьяка, ртути, тантала и ниобия, бериллия, редких земель, тория, серебра и платины. Неметаллические ископаемые представлены месторождениями строительных материалов (доломитов для получения извести, кирпичных глин, песчано-гравийных смесей) и питьевых вод, проявлениями и пунктами минерализации огнеупорного сырья, флюорита, графита, мусковита, керамического сырья, рубинов, ореолом радоновых вод [9].

Черные металлы. На территории листа известны проявления и пункты минерализации железа скарнового, метаморфогенного и гидротермального типов магнетитовой скарновой формации [11].

Цветные металлы. Известны пункты минерализации меди, меди и никеля, свинца и меди гидротермального типа. Проявления и пункты минерализации свинца, цинка гидротермального типа свинцово-цинковой стратиформной формации в карбонатных породах. Пункты минерализации вольфрама скарнового типа [11].

Редкие металлы. Известны пункты минерализации бериллия. Пункты минерализации тантала и ниобия гидротермального типа, а также редких земель пневматолитового типа [11].

Благородные металлы. Наиболее важным полезным ископаемым является золото. Долгое время объектами эксплуатации на площади были золотоносные россыпи бассейнов рек Енашимо, Нойбы и Теи. На территории известны крупные («Благодатное») и малые («Доброе», «Полярная звезда»)

месторождения, проявления («Усть-Оллоноконское», «Водораздельное», «Заявка-13» и др.) и пункты минерализации коренного золота гидротермального типа золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Крупные, средние и малые месторождения россыпного золота осадочно-механического типа формации золотоносных россыпей. Пункты минерализации золота и свинца гидротермального типа, золота и серебра гидротермального типа, а также типа кор выветривания [11].

Радиоактивные элементы. Известны проявления и пункты минерализации урана гидротермального типа трёх формаций (урановорудная в гумбеитах, урановорудная в березитах, урановорудная в зонах структурно-стратиграфических несогласий). Пункты минерализации тория, редких земель и флюорита гидротермального типа [11].

Керамическое и огнеупорное сырье. Известны пункты минерализации керамического пегматита пневматолитового типа формации керамических пегматитов. Проявления и пункты минерализации высокоглиноземистых материалов (кианит и силлиманит) метаморфогенного типа формации силлиманитовых, кианитовых и кианит-силлиманитовых сланцев [11].

Горнотехническое сырье. Известны пункты минерализации мусковита пневматолитового типа формации мусковитовых пегматитов, и графита гидротермального типа [11].

Драгоценные и поделочные камни. Известны проявления и пункты минерализации рубинов осадочно-механического типа формации рубиноносных россыпей [9].

Строительные материалы. Известны малые месторождения доломита осадочно-хемогенного типа, кирпичных глин и песчано-гравийного материала осадочного типа [11].

3. ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

3.1. Литолого-стратиграфическая характеристика пород месторождения

Расчленение разреза приводится по геолого-литологической карте (плану) В.В. Журавлева 2019 года масштаба 1:5 000 на примере РЛ 18, в соответствии с рисунками 3.1. - 3.2. и приложением Б.

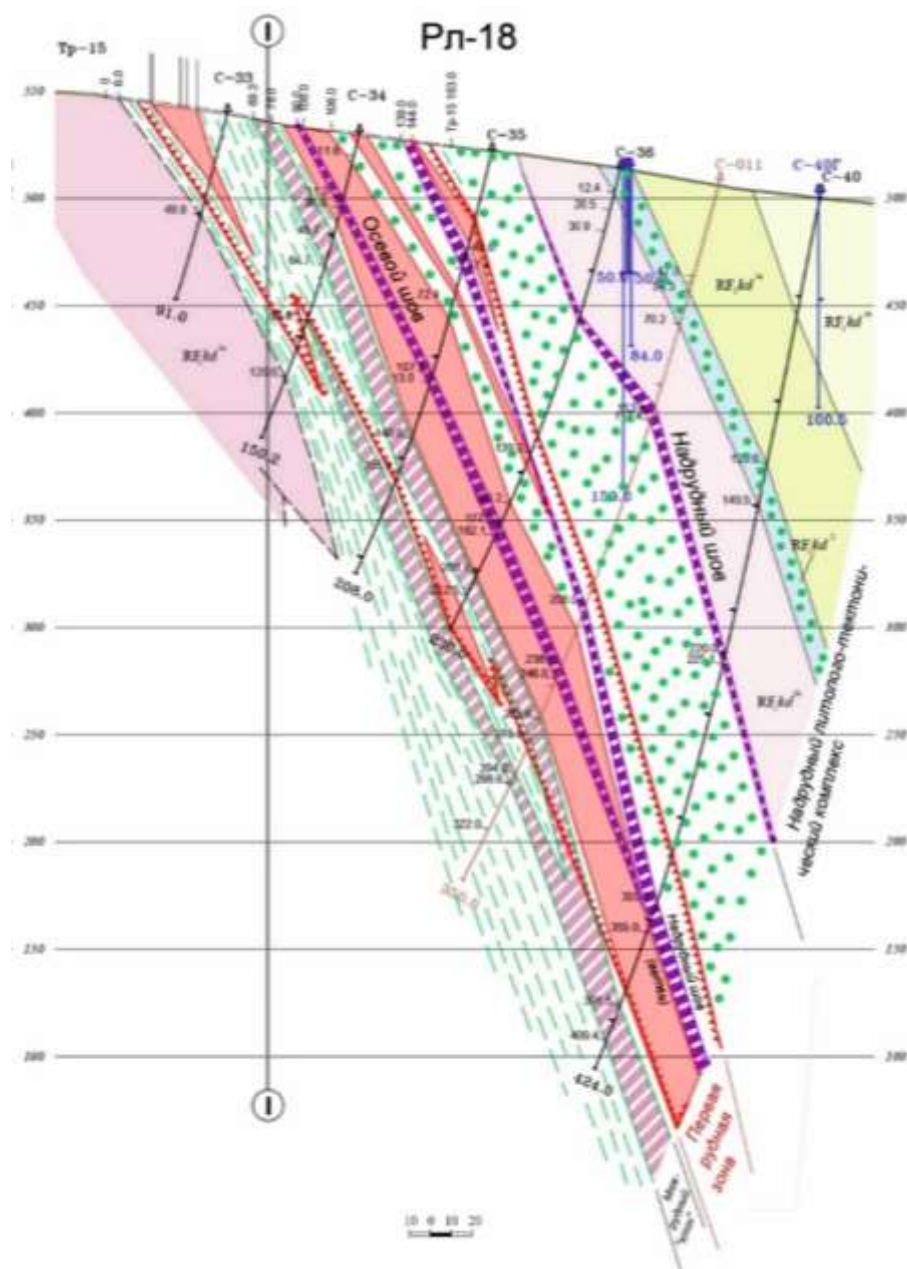


Рисунок 3.1. – Разрез по разведочной линии № 18

Условные обозначения

Татарско-аяхтинский комплекс гранитов. Вторая фаза - граниты равномернозернистые биотитовые. Жильная фаза - гранит-порфиры (дайки, жилы).

Нижний рифей. Сухопитская серия. Кординская свита

Верхняя пачка
 RF, kd^{3a} Верхняя подпачка (3b). Метаалевролиты, метаалевропелиты, металесчаниты, кварцитовидные сланцы (метаалевропелиты).
 RF, kd^{3a} Нижняя подпачка (3a). Метаалевролиты, метаалевропелиты, металесчаниты, кварцитовидные сланцы (метаалевропелиты).

Средняя пачка (2). Контрастно-тонкопосчатые сланцы, кварцитосланцы, кварциты и кварц-полевощалотые породы (метаритмиты?). Маркирующий горизонт.
 RF, kd^{2a}

Нижняя пачка
 RF, kd^{1a} Верхняя подпачка (1b). Груболопосчатые кварцитосланцы (метасаммиты).
 RF, kd^{1a} Нижняя подпачка (1a). Светлолитные створолитовые сланцы (метасефиты). Исходные породы (протолит) для динамометаморфических и гидротермально-метасоматически измененных пород рудоносной зоны.

Верхний карелий. Тейская серия
 KR, r2¹ Рязанская свита. Карбонат-слюдисто-кварцевые породы (роговики?) и сланцы, известково-силикатные породы (роговики? окарноиды?), кальцифилы диоксид-микроклин-флогопитовые (скарны?).

Породы рудоносной тектонической зоны*

Реликты (жесткие останки) неизмененных или слабо катализированных светлолитных сланцев нижней подпачки (1a) нижней пачки кординской свиты среди динамометаморфизованных и метасоматически измененных пород. Являются незолотоносными, но в значительной мере контролируют форму и расположение рудных тел.

Краевые участки слабой (а) и средней, переходной (б) степени динамометаморфических и наложенных метасоматических изменений - катаклаза, расщепления и милонитизации, окисления, серицитизации, углеродизации и сульфидизации. Цвет белый (не закрашены). Незолотоносные, сторидически слабозолотоносные (а) и золотоносные на уровне 0,4 г/т, до 0,7-1,0 г/т (б). Последние (б) в общих чертах определяют контуры бедных руд.

Осевые участки растяжения, расщепления и милонитизации с максимальной степенью наложенных гидротермально-метасоматических изменений (серицитизацией, углеродизацией, жильно-прожилковым окислением, сульфидизацией). По форме - дуплексы, линзы, линейно-вытянутые и перисто-ветвящиеся участки. Являются золотоносными на уровне более 0,7-1,0 г/т и в общих чертах определяют контуры рудных тел (бедных руд).

Тектонические швы-сместители (надрудный, подрудный, рамповый 1, рамповый 2 и др.), выполненные катаклазитами, милонитами, blastsмилонитами, гранит-порфирами, кварцевыми жилами и пр. Протяженные (в масштабе всей зоны) и маломощные (от десятков сантиметров до первых метров). Формируют анклавы конфигурацию и внутреннее строение рудоносной тектонической зоны. Являются маркирующими структурными элементами.

* Литологическая зона, как геологический объект, и дифференциально-метаморфическая зона (ДМЗ), как метаморфический объект, пространственно совпадают, но различаются по составу и степени метаморфизма. Литологическая свита имеет непрерывный характер, но и часто распространяется скачко.

Тектониты**

Тектониты нерасчлененные (катаклазиты, милониты, брекчи) шовных зон разрывных нарушений.

Метасоматические образования**

Безрудные (иногда золотоносные) метасоматиты - кварцевые серицитолиты и кварцитолиты по породам подпачки (1b), средней пачки (2) и подпачки (3a).

Безрудные метасоматиты - серицитолиты, трассирующие рамповые разрывы и подрудный шов ("шелковистые" динамосланцы).

Слабо- и среднеизмененные породы внешней и переходной зон метасоматоза (красчатые сланцы, облучено-лентистые сланцы, целочечно-гликозидные сланцы и пр.).

"Связной" шов на плане (а) и разрезах (б) - зона blastsмилонитов (осветленных углеродисто-серицитовых сульфидизированных метасоматитов, т.н. "темноглянцевых" сланцев), трассирующая дорудную (рудоподводящую?) тектоническую зону. Форма - линейная, перисто-ветвящаяся. Является маркирующими структурными элементами.

** Тектониты и метасоматиты являются пространственно связными, но различаются по составу и степени метаморфизма. Литологическая свита имеет непрерывный характер, но и часто распространяется скачко.

Структурно-тектонические элементы

Геологические границы:
 А - достоверные;
 Б - предполагаемые;
 Разрывные нарушения достоверные:
 а - надвиг;
 б - сброс;
 в - взброс-сдвиг;
 г - прочие нарушения.
 Разрывные нарушения предполагаемые

Прочие обозначения

Разведочная линия (РЛ), поисковая линия (ПЛ) и их номера
 Линия продольной проекции на разрезах и плане: I - продольный разрез по I-й рудной зоне; II - то же по II-й рудной зоне
 Канавы и траншеи на плане, их номера и длина (м)
 Канавы ручной проходим, пройденные Северной ГРЗ при поисковых работах в 1969 г.
 Канавы механизированной проходим, пройденные Северной ГРЗ при поисковых работах в 1973-76 гг.
 Траншеи механизированной проходим, пройденные ЗАО "Полос" при оценке Благодатного м-ния в 2000-2004 гг.
 Траншеи механизированной проходим (Tr) и бульдозерные расчистки (P), пройденные ЗАО "Полос" при разведке Благодатного м-ния в 2006-2007 гг.
 Траншеи механизированной проходим, пройденные ЗАО "Полос" при поисках на флангах Благодатного м-ния в 2007 г.
 Скважины на плане, их номера и целевое назначение
 Поисковые, пройденные Северной ГРЗ в 1973-76 гг.
 Оценочные, пройденные ЗАО "Полос" в 2000-2004 гг.
 Разведочные и поисковые, пройденные ЗАО "Полос" в отчетный период в 2006-2007 гг.
 Поисковые, пройденные ЗАО "Полос" при поисках на флангах Благодатного м-ния в 2007 г.
 Картировочные, пройденные ЗАО "Полос" при оценочных работах в 2004 г. Линия картировочных скважин и ее номер
 Картировочные, пройденные ЗАО "Полос" при разведочных работах в 2006-2007 гг. Линия картировочных скважин и ее номер
 Картировочные, пройденные ЗАО "Полос" при поисках на флангах Благодатного м-ния в 2006-2007 гг. Линия картировочных скважин и ее номер
 Гидрогеологические скважины, пройденные ЗАО "Полос" 2000-2007 гг.
 Инженерно-геологические скважины, пройденные ЗАО "Полос" в 2007 г.
 Разведочные скважины отчетного периода (2013-2015 гг.)

Канавы, траншеи и скважины на разрезах

Канавы и траншеи на разрезах, отметки пересечения геологических границ (м), их номера и конечная длина (м).
 Поисковые и разведочные скважины проходки до 2005 г. (а) и 2006-2008 гг.: разведочные (б), гидрогеологические (в) и инженерно-геологические (г) скважины, глубина скважин (в м). Глубины пересечения геологических контактов (м).
 Разведочные скважины отчетного периода (2013-2015 гг.), их номера и глубины (м).

Рисунок 3.2. – Условные обозначения

Рязановская свита (PR_{1rz}). Отложения данной свиты граничат по Благодатнинскому надвигу с породами кординской свиты в юго-восточной части территории. Представлена свита преимущественно кальцифирами диопсид-микроклин-флогопитового состава, а также карбонат-кварцевыми и известково-силикатными породами. Кальцифиры обычно серого цвета с зеленоватым оттенком, имеют плитчатую отдельность и такситовую текстуру, гранобластовую и лепидогранобластовую структуры. Главными минералами являются диопсид (60-70 %) и флогопит (20-30%) [3, 5].

Кординская свита (RF_{kd}) расчленяется на нижнюю, среднюю и верхнюю пачки. Каждая из пачек делится на нижнюю и верхнюю подпачки.

Нижняя пачка (RF_{1kd}^l). Отложения данной пачки простираются в субмеридиоанальном направлении с северо-запада на юго-восток в восточной части территории.

Нижняя подпачка (RF_{1kd}^{la}) представлена светлопятнистыми ставролитовыми сланцами (апопсефитами) темно-серого цвета. Такситовая и грубосланцеватая текстура, бластопсефитовая структура. Основная ткань однородная, лепидобластовая. Отмечаются породы с различной по морфологии обломочной частью, степени окатанности обломков варьирует от неокатанных до правильных эллипсоидов. По минеральному составу обломочный материал делится на мусковитовый и мусковит-ставролитовый, и гранат-биотит-ставролитовый [5].

Минеральный состав (%): кварц (45-50), биотит (15-25), мусковит (10-25), гранат (5-10), ставролит (5-10), полевые шпаты (0-5), акцессорные минералы (пирит, турмалин, циркон, апатит).

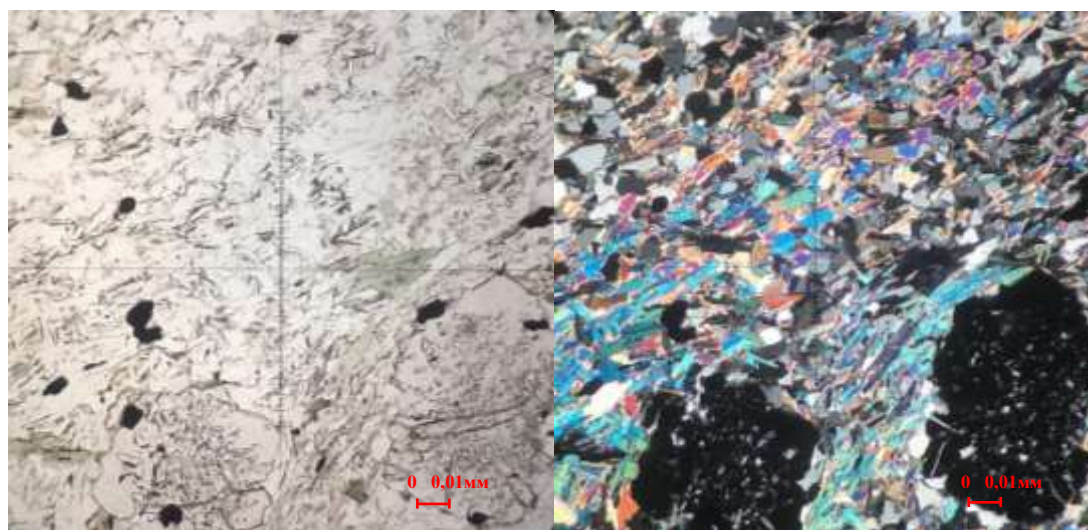


Рисунок 3.3. – Ставролитовый двуслюдяной сланец в шлифе (николи: слева «-», справа «+», увеличение 10^{\times}). В поле фотографии порфиробласты граната, кварц, хлорит и мусковит

Такситовая текстура или пятнистость, являющаяся характерной особенностью данных пород, обусловлена присутствием уплощенных, линзовидных светлых обособлений. Эти обособления состоят прежде всего из мусковита с примесью кварца и порфиробластов ставролита, реже граната, микроструктура спутанно-лепидогранобластовая.

Верхняя подпачка (RF_1kd^{lb}) представлена грубополосчатыми кварцитосланцами (апопсаммитами). Кварцитосланцы делятся на мусковитовые (биотита <10 %) и двуслюдяные. Породы имеют зеленовато-серую окраску и хорошо выраженную широко, тонко- и нитевидную слоистость. В отдельных случаях фиксируется метаморфогенная полосчатость, которая связана с распределением в полосы слюд и кварца.

Минеральный состав, (%): кварц (35-60), биотит (15-30), мусковит (20-40), гранат (до 10).

В качестве постоянной примеси в этих породах является турмалин буровато-зеленого цвета с характерной ему зональностью. Рутил и сфен являются диафторигенными минералами, которые образуются при замещении

биотита и граната хлоритом. Диафоригенные преобразования сланцев естественны, особенно в участках рудных тел.

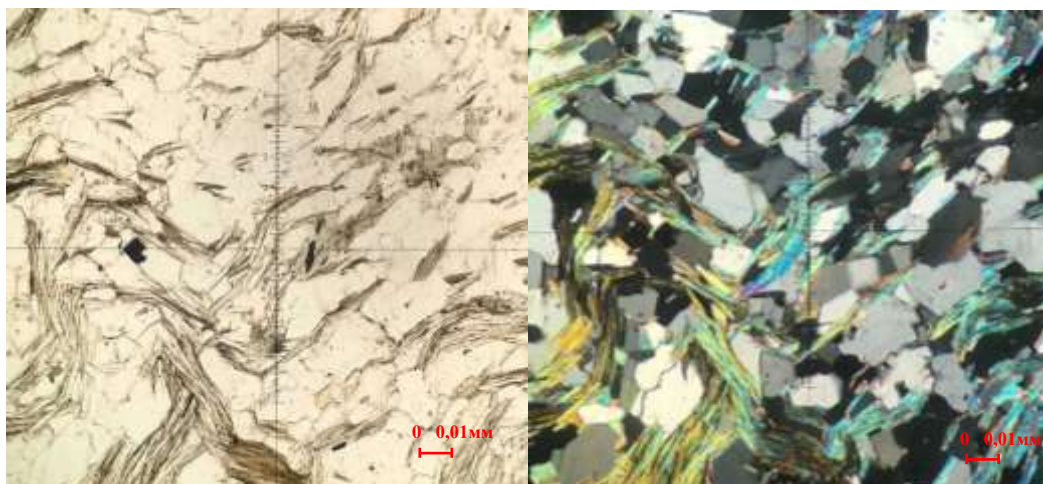


Рисунок 3.4. – Кварцитосланец сланец в шлифе (николи: слева «-», справа «+»), увеличение $10\times$). В поле фотографии кварц (серый), мусковит и биотит

В зависимости от пропорции биотита и мусковита сланцы могут называться биотит-мусковитовыми и мусковит-биотитовыми. В приконтактной области двуслюдяных и пятнистых ставролитовых сланцев отмечается слабо контрастная пятнистость двуслюдяных сланцев.

Средняя пачка (RF_1kd^2) представлена контрастно-тонкополосчатыми сланцами, кварцитосланцами, кварцитами и кварц-полевошпатовыми породами. Является маркирующим горизонтом.

Верхняя пачка (RF_1kd^3). Отложения данной пачки простираются в субмеридиоанальном направлении с северо-запада на юго-восток в западной части территории.

Нижняя (RF_1kd^{3a}) и верхняя (RF_1kd^{3b}) подпачки представлены метаалевролитами, метаалевропелитами, метапесчаниками, кварцитовидными сланцами. Метаалевролиты имеют светлую зеленовато-серую окраску, тонкоплитчатую отдельность, бластоалевритовую структуру. Основными минералами являются плагиоклаз (40-50 %), кварц (20-40 %), карбонаты (10-15 %) и хлоритизированный биотит (5-15 %). Кварцитовидные сланцы обычно

представляют собой неяснослоистые породы коричневатого-серого цвета с фиолетовым оттенком и выраженной сланцеватостью. Сланцеватость и реликтовая слоистость выделяется чередованием слоев с различным соотношением кварца и агрегатов слюд. Для пород свойственна выдержанная плоскостная лепидогранобластовая структура. Исходными породами, вероятно, были крупнозернистыми алевролитами с горизонтами мелкозернистых песчаников и алевролитов [3, 5].

Минеральный состав (%): кварц (45-75), слюды (5-30) полевые шпаты (10-15), гранат (5-10); акцессорные минералы (циркон, апатит, турмалин).

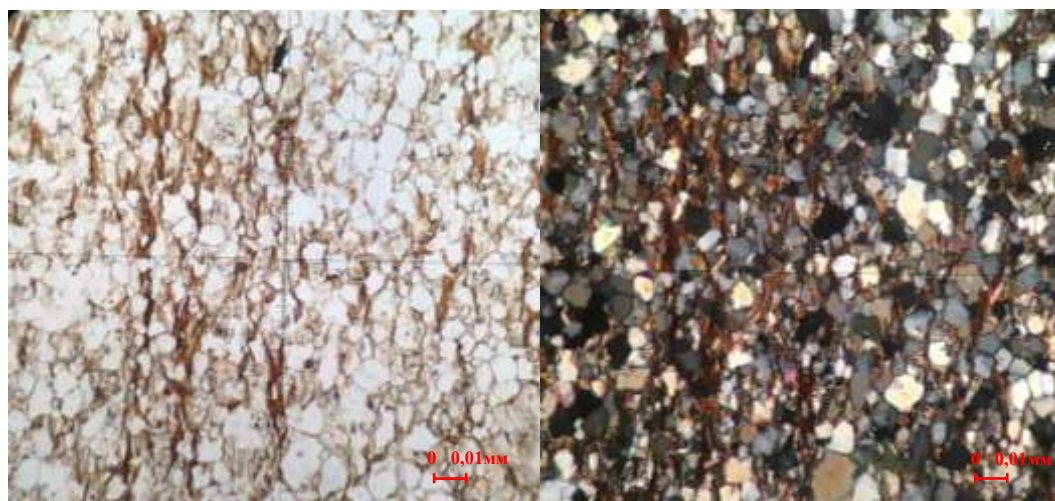


Рисунок 3.5. – Кварцитовидный сланец в шлифе (николи: слева «-», справа «+», увеличение 10^x). В поле фотографии основная масса, сложенная кварцем и чешуйками слюд

Основная ткань состоит из слюд и кварца с примесью полевых шпатов. Кварц встречается в виде угловатых, полуокатанных и в меньшей степени изометричных зерен. Обособленные чешуйки биотита и мусковита в основной ткани ориентированы по сланцеватости. Биотит чаще всего интенсивно замещен хлоритом и мусковитом. Полевые шпаты образуют небольшие хорошо окатанные, равномерно распределенные в породе, зерна. Отмечается интенсивное замещение минералов тонкочешуйчатым серицитом.

3.2. Интрузивные породы

На территории рудного поля известны интрузии *татарско-аяхтинского гранитового комплекса (RF_{3ta})*. Комплекс расчленяется на первую (γ_2RF_3ta) и вторую (γ_3RF_3ta) фазы. Первая или жильная фаза представлена маломощной дайкой гранит-порфиров северо-западного простирания, прорывающей породы верхней пачки кординской свиты (метаалевролиты, метапесчаники и кварцитовидные сланцы). Дайка гранит-порфира была обнаружена в 250 м к северо-востоку от тальвега долины ручья Благодатного. Вторая фаза слагает две интрузии (325x100 м, 250x100 м,) равномернозернистых биотитовых гранитов. Интрузии прорывают в восточной части территории породы рязановской свиты (кальцифиры) [5].

Гранит-порфир имеет светлую розовато-серую окраску. Текстура породы пятнисто-полосчатая, которая обуславливается распределением турмалина и разнозернистых кварц-полевошпатовых агрегатов, составляющих основу породы. Структура породы неравномернозернистая с микропорфировыми выделениями (до 0,5 см) микроклина, плагиоклаза и кварца [5].

Главными минералами в породе являются микроклин (до 45 %), кварц (до 30 %) и олигоклаз (до 10 %), второстепенными - мусковит (до 8 %) и турмалин (до 15 %). В качестве акцессорного минерала выступает апатит, который представлен редкими игольчатыми удлинёнными кристалликами, что свидетельствует о резком переохлаждении расплава при кристаллизации.

Наличие большого количества (до 50 %) фенокристов плагиоклаза, микроклина и кварца определяет микроструктурный узор породы.

Микропорфировые выделения олигоклаза удлиненно-таблитчатой формы с тонким альбитовым двойникованием относительно равномерно распределены в породе.

Широкотаблитчатые ксеноморфные микровкрапленники микроклина с плагиоклазом создают порфировидную канву породы. Зерна микроклина имеют зубчато-извилистую морфологию за счет их прорастания с краев

мелкозернистым агрегатом кварца, плагиоклаза, микроклина, заполняющим межпорфировое пространство. В микроклине развиты овальные и идиоморфные дипирамидальные включения кварца, лейсты альбит-олигоклаза и призматические кристаллы зонального турмалина (шерла).

Промежутки между фенокристаллами микроклина, плагиоклаза и кварца заполнены мелкозернистым аплитовидным агрегатом тех же минералов. В мелкозернистом агрегате основной ткани развита грейзеновая ассоциация минералов. Грейзенизация поражает породу в виде мелких изометричных пятен, линзовидно-ситовидных агрегатов, которые состоят из мусковита, турмалина и кварца [5].

3.3. Структура рудного поля

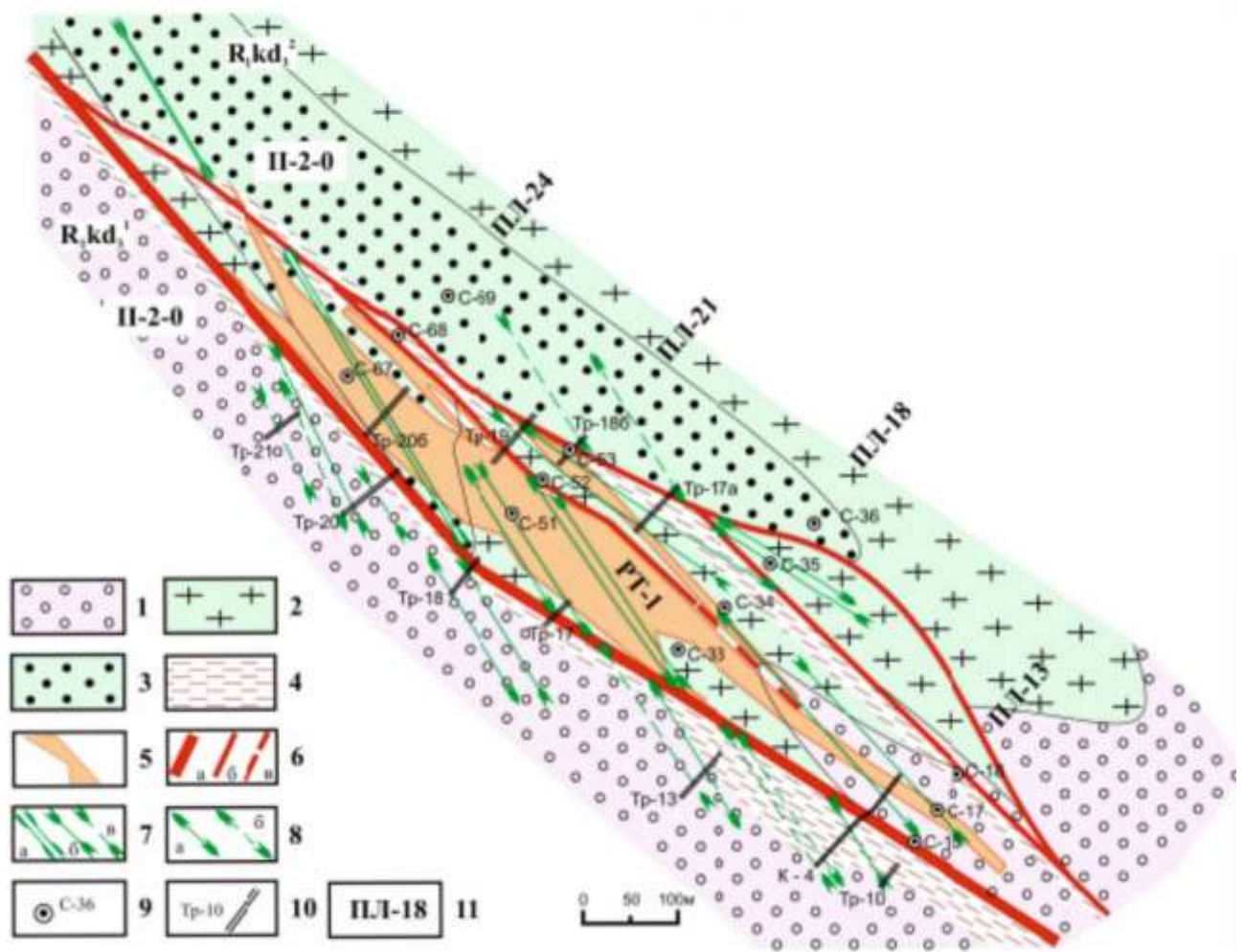
На территории рудного поля выявлены различные разрывные нарушения: надвиги, сбросы, взбросо-сдвиги.

Самыми крупными разрывными нарушениями являются Викторовский разлом и Благодатнинский надвиг, имеющие северо-западное простирание. Благодатнинский надвиг является границей между породами рязановской и кординской свит, а Викторовский разлом наблюдается в ставролитовых сланцах.

Более мелкие нарушения представлены серией разломов северо-западного простирания в пределах рудной минерализованной зоны.

В зонах разрывных нарушений наблюдается интенсивный катаклиз, тектоническая рассланцовка и милонитизация.

Структуры Северного участка. В юго-западной части картируется зона основного сбросо-сдвига, которая представляет собой тектонический контакт ставролитовых сланцев и зоны метасоматоза. Вдоль нарушения проявлена милонитизация, усиленное рассланцевание пород, а также приразломная субгоризонтальная складчатость [3, 5].



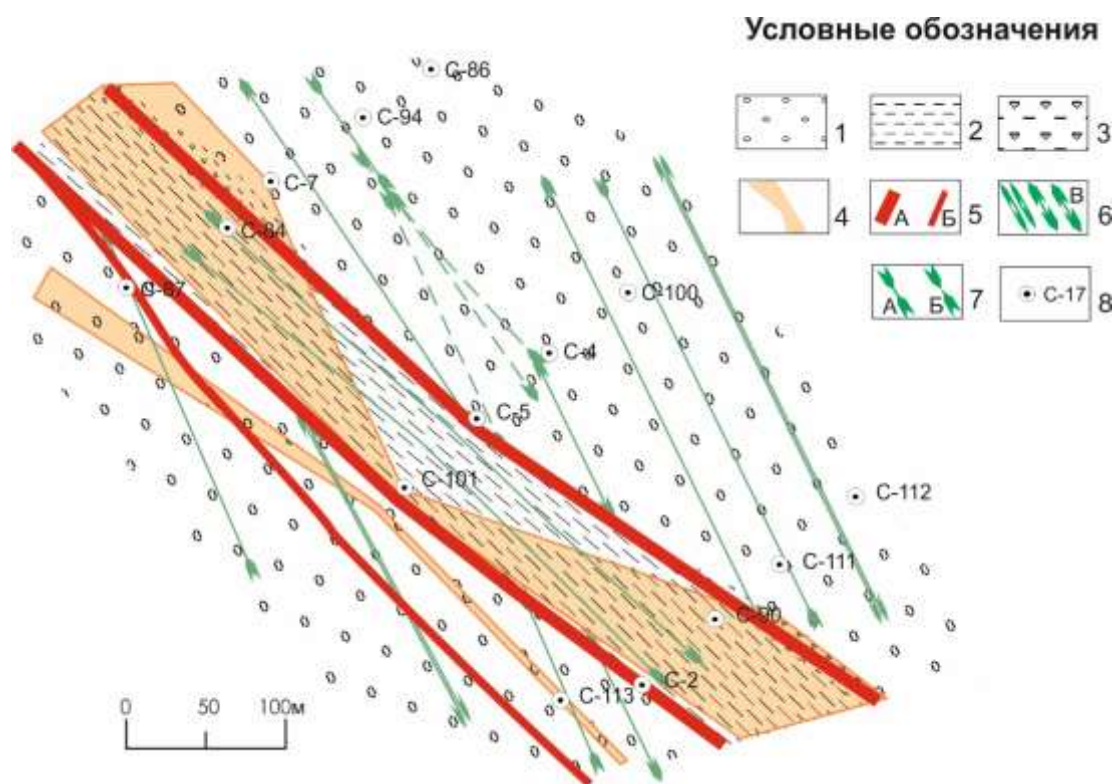
1-3 – Кристаллические сланцы: 1 – ставролитовые; 2 – двуслюдяные; 3 – кварцитовидные; 4 – зона милонитизации и интенсивного рассланцевания; 5 – контуры рудного тела; 6 – сбросо-сдвиги первого (а), второго (б) и третьего (в) порядков; 7 – проекции осевых поверхностей синклинальных складок первого (а), второго (б) и третьего (в) порядков; 8 – проекции осевых поверхностей антиклинальных складок второго (а) и третьего (б) порядков; 9 – буровые скважины и их номера; 10 – бульдозерные траншеи и их номера; 11 – поисковые линии и их номера.

Рисунок 3.6. – Схема геологического строения северного участка минерализованной зоны (составили: А.М. Сазонов и П.А. Тишин)

Ставролитовые сланцы смяты в субвертикальные складки. На удалении от зоны разлома в ставролитовых сланцах отмечается две антиклинали и две синклинали.

В северо-восточной части рудного тела №1 развиты кварцитовидные сланцы, смятые в антиклинальную складку, крыло которой нарушено взбросо-сдвигом [3, 5].

Структуры Южного участка. В пределах южного участка развиваются ставролитовые сланцы и зона милонитизации, что представлено на рисунке 3.7. Милонитизированная зона, к которой приурочено рудное тело № 2, разбивает метаморфическую толщу на три части: юго-западная, центральная и северо-восточная [3, 5].



1 – ставролитовые сланцы; 2 – милонитизация; 3 – рассланцевание; 4 – контуры рудных тел; 5 – сбросо-сдвиги первого (А) и второго (Б) порядков; 6 – проекции осевых поверхностей антиклинальных складок первого (А), второго (Б) и третьего (В) порядков; 7 – проекции осевых поверхностей синклинальных складок второго (А) и третьего (Б) порядков; 8 – буровые скважины и их номера.

Рисунок 3.7. – Схема геологического строения южного участка минерализованной зоны (составили: А.М. Сазонов и П.А. Тишин)

Юго-западная часть рудоносной зоны, вероятно, является фрагментом крыла относительно крупной складки, которое осложнено более мелкими складками. В центральной части картируется система остроугольных изоклинальных субизометричных складок. Северо-восточная часть характеризуется развитием интенсивной складчатости [3, 5].

3.4. Характеристика рудных тел

Рудоносная минерализованная зона (РМЗ) месторождения Благодатное протяженностью 3750 м представлена интенсивно рассланцованными, гидротермально-метасоматически измененными сланцами. Наиболее характерным признаком рудоносной зоны является сульфидизация сланцев, которые насыщены в разной степени плотности кварцевыми желваками, жилами и кварц-карбонатными нитевидными прожилками, содержащими сульфиды и видимое золото. В пределах РМЗ выделяются две рудные зоны: северо-западная и юго-восточная, внутри каждой из зон – основное и сопутствующие рудные тела [2].

Мощность рудоносной минерализованной зоны: в плане - от 35 до 80 м, в разрезе - 93 м. Рудоносная минерализованная зона имеет линейно-вытянутую форму северо-западного простирания с моноклиальным падением на северо-восток. Её форма имеет вид постепенно меняющегося по мощности пласта с плавными коленообразными изгибами [2].

Насчитывается два основных рудных тела – северное (рудное тело №1) и южное (рудное тело №2). Их мощность колеблется от 10 до 60 м, среднее содержание золота 2,4 г/т. Протяженность северного тела 800 м, южного – 1375 м. Северное рудное тело находится в нагорной части месторождения, значение объемной массы руды - 2,7 т/м³. Южное рудное тело расположено на склоне г. Благодатной и долине р. Енашимо, значение объемной массы руды – 2,8 т/м³ [2].

По минеральному составу руда месторождения к золотокварцевой формации и золото-арсенид-малосульфидному типу. Главными породообразующими минералами являются кварц и слюды (серицит, мусковит, биотит, хлорит).

Такие минералы, как: ангидрит, флюорит, барит, анкерит и баритоцелестин, фиксируются в прожилках поздней стадии минерализации. Доминирующие сульфиды представлены пиритом, пирротинном, арсенопиритом, марказитом и лёллингитом, некоторые из них представлены на рисунках 3.8 и 3.9. Следующим среди сульфидов следует халькопирит, реже наблюдается сфалерит с галенитом [2].



Рисунок 3.8. – Арсенопирит (белый) в аншлифе (никколи: слева «-», справа «+», увеличение 10^x)

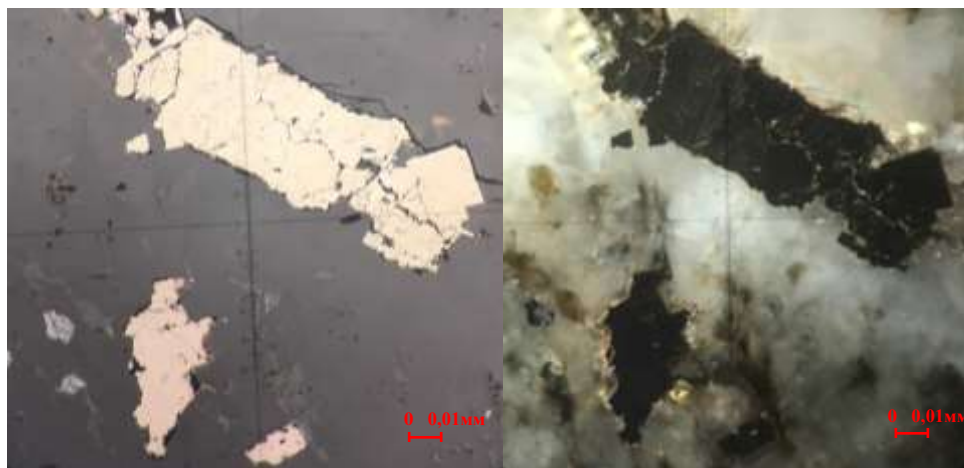


Рисунок 3.9. – Пирит (вверху) и пирротин (внизу) в аншлифе
(никколи: слева «-», справа «+», увеличение 10^{\times})

В самородной форме присутствует не только золото, представленное на рисунке 3.10, но и серебро, мышьяк, висмут, свинец, теллур, электрум, галеновисмутин и ряд других менее значимых минералов.

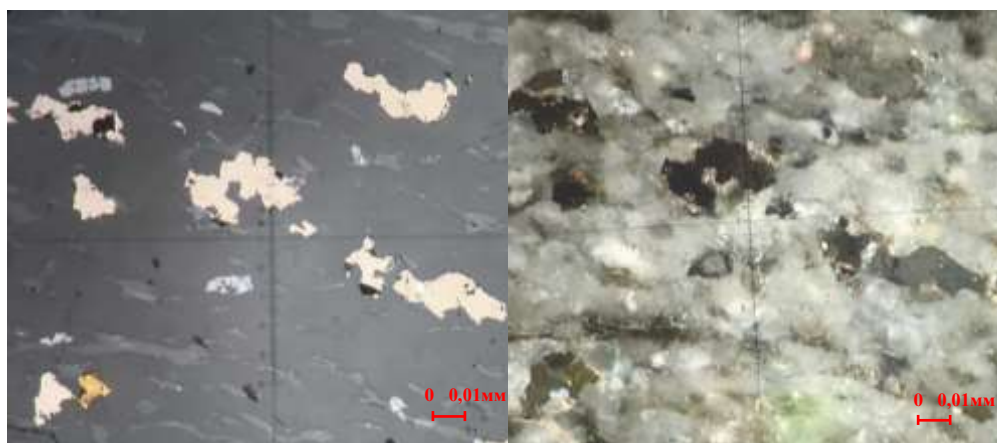


Рисунок 3.10. – Золото (ярко-жёлтое) в аншлифе
(никколи: слева «-», справа «+», увеличение 10^{\times})

Золото в аншлифах отмечается в виде аллотриоморфных зерен ярко-жёлтого цвета, размеры зерен варьируют от 0,001 до 0,01 мм. В рудах золото связано с кварцевыми прожилками и окварцеванием основной массы пород, которое часто заполняет интерстиционные пространства между зернами слюд и кварца. Часть золота приходится на сульфидные прожилки различного состава, что связано с кристификационными выделениями крупного золота по их зальбандам. Первые проценты образуют включения золота в арсенопирите и лёллингите, а также срастания с галенитом, пирротинном, халькопиритом, минералами теллура, серебра и висмута [2].

4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД И РУД

4.1. Методическая часть

Обработка геохимических данных заключалась в расчете основных статистических параметров распределения элементов в породах и рудах месторождения; установлении типоморфного комплекса элементов; оценке тесноты корреляционной связи между элементами типоморфного комплекса; исследовании зональности и построении геохимических разрезов.

Исходными данными для работы являются содержания элементов спектрального, атомно-абсорбционного и пробирного анализов для определения концентраций золота в керновых пробах.

Погрешности первых двух анализов подчиняются логарифмически нормальному закону, распределение содержаний элементов в породах аппроксимируются логнормальной зависимостью. В связи с этим для элементов рассчитывались среднегеометрические значения содержаний ($\tilde{c} = 10^{\overline{\log c}}$) и стандартные множители ($\varepsilon = 10^{S_{\log}}$), где $\overline{\log c}$ и S_{\log} – среднеарифметическое содержание и среднеквадратическое отклонение в десятичных логарифмах.

Фоновое содержание элементов определяется как среднее геометрическое: $C_{\phi} = \tilde{c}$. Аномальные содержания элементов рассчитываются по формуле:

$$C_{A,m} = C_{\phi} * \varepsilon^{3/\sqrt{m}}, \quad (1)$$

где $C_{A,m}$ – аномальное содержание элементов;

C_{ϕ} – фоновое содержание элемента;

m – количество смежных аномальных точек, $m = 1-9$;

ε – стандартный множитель.

Погрешности пробирного анализа обычно подчиняются нормальному закону, следовательно, распределение золота в рудах аппроксимируется нормальным законом распределения.

Фоновое содержание золота определяется как среднее арифметическое:

$$C_{\phi} = \bar{c} = \sum_{i=1}^n C_i/n,$$

Аномальные содержания для золота рассчитываются по формуле:

$$C_{A,m} = C_{\phi} + 3/\sqrt{m} * S,$$

(2)

где C_{ϕ} – фоновое содержание золота;

m – количество смежных аномальных точек, $m = 1-9$;

S – стандартное отклонение.

4.1.1. Расчет коэффициентов концентрации элементов

Для установления типоморфного комплекса элементов в рудах рассчитываются коэффициенты концентрации K_k , которые определяются геохимической специализацией пород.

Если значение $K_k > 1$ - элемент накапливается в породе, если же $K_k < 1$ – элемент находится в дефиците, или выносится из пород под действием различных факторов.

Используя данные, полученные при расчете статистических параметров, производится расчет коэффициентов концентрации элементов. Расчет производится с использованием значений среднего геометрического вмещающих пород и руд для каждого элемента:

$$K_k = \frac{\tilde{C}_{руд}}{\tilde{C}_{пор}}, \quad (3)$$

где $\tilde{C}_{руд}$ – среднее геометрическое значение содержаний элементов в рудном интервале;

$\tilde{C}_{пор}$ – среднее геометрическое значение содержаний элементов во вмещающих породах;

4.1.2. Расчет коэффициентов корреляции

Для определения связи между золотом и элементами типоморфного комплекса по месторождению Благодатное ведется расчет коэффициентов корреляции между элементами [8]:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s(x)s(y)} \quad (4)$$

где x_i, y_i – классы значений;

s – стандартное отклонение;

n – число пар значений;

\bar{x}, \bar{y} – среднее арифметическое значений.

Значения коэффициента корреляции изменяются в интервале $[-1; +1]$. Различают обратную или отрицательную корреляционную связь $r = [-1; 0]$, когда с увеличением концентрации одного элемента концентрация другого элемента уменьшается, и прямую или положительную связь $r = [0; +1]$, когда содержания двух элементов одновременно увеличиваются или уменьшаются на одинаковых участках геохимического поля.

Сила корреляционной связи оценивается по величине r :

слабая – при $r = 0,3-0,5$

средняя – при $r = 0,5-0,7$

сильная – при $r=0,7-0,9$

функциональная – при $r=0,9-1,0$.

Основным типом графического представления корреляционных связей, наиболее удобным для анализа общей структуры связей элементов, являются корреляционные дендрограммы. Они строятся объединением в группы элементов, имеющих положительные корреляционные связи между собой. Ядро групп образуют пары элементов с максимальными коэффициентами корреляции. Порядок последующего включения элементов в группу и объединения групп определяются получением наибольшей величины среднего коэффициента корреляции во вновь образуемой группе [8].

Расчет корреляционных связей между элементами и построение дендрограмм проводились в программе STATISTICA.

Для оценки сходства рядов зонального отложения рассчитывается ранговый коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = 1 - \frac{6 \sum \Delta^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

где $\sum \Delta^2$ - сумма квадратов разностей порядковых номеров ранжированного ряда значений x и y ;

n – количество элементов.

При наличии сильной корреляционной связи частные зональные ряды объединяются в обобщенный ряд для рудного тела.

4.1.3. Исследование геохимической зональности

При анализе закономерностей образования рудных месторождений, прогнозе оруденения на глубину или оценке геохимических аномалий важное место занимает изучения зональности рудоотложения, т.е.

закономерного изменения соотношений между содержаниями элементов типоморфного комплекса по простиранию, падению (восстанию) и мощности рудной зоны.

В зависимости от направления выделяются три основных типа зональности: осевая, поперечная и продольная. Осевая зональность проявляется в направлении движения рудоносных растворов и для крутопадающих рудных зон совпадает с вертикальной, а субгоризонтальных – с горизонтальной. Продольная зональность проявляется по простиранию рудных зон (ось y), поперечная – вкrest простирания (ось x). Наиболее важное значение в практике геохимических работ имеет осевая (вертикальная) зональность [4].

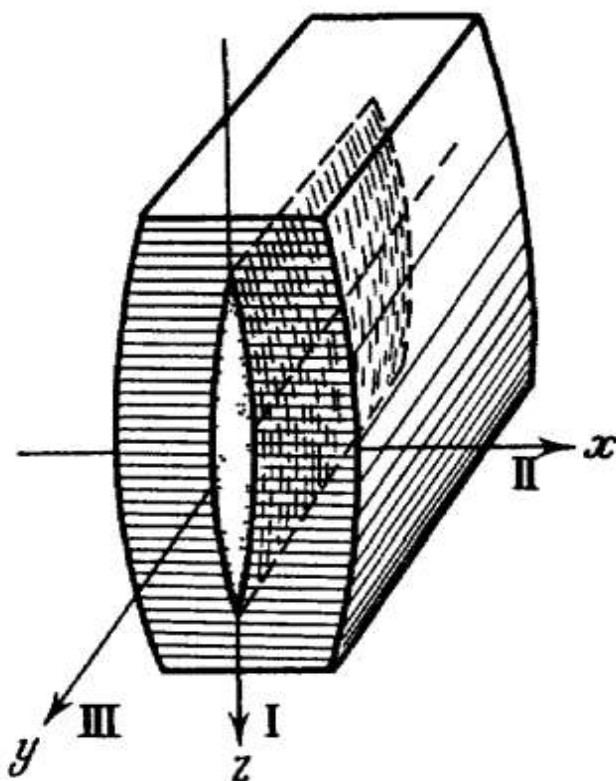


Рисунок 4.1 - Направления осевой (I), поперечной (II) и продольной (III) зональности

Геохимическая зональность обусловлена различиями и миграционной способности химических элементов в процессе экзогенного и эндогенного рудообразования. Соответствующие физико-химические условия

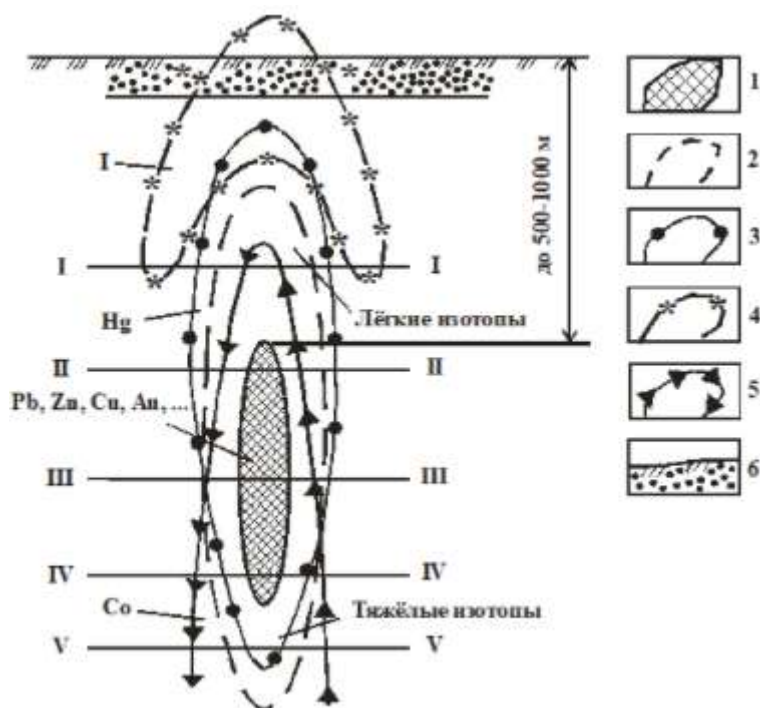
рудоотложения приводят к фиксации элементов на различных геохимических барьерах, что определяет существование зональных рядов отложения рудных элементов [4].

Впервые детальное описание закономерностей зонального распределения рудных элементов по глубине в гидротермальных месторождениях дал в 1924 г. В. Эммонс. Предложенный им тогда ряд зонального отложения элементов (снизу-вверх): Sn, W, As, Bi, Au₁, Cu, Zn, Pb, Ag, Au₂, Sb, Hg, к настоящему времени, не ставится под сомнение и все последующие исследования его только дополняли и уточняли. Так, на основе изучения более 300 сульфидных месторождений различных рудных формаций Л.Н. Овчинников и С.В. Григорян предложили обобщенный ряд зональности отложения элементов (снизу-вверх): W₁ – Be – As₁ – Sn₁ – Au₁ – U – Mo – Co – Ni – Bi – W₂ – Au₂ – Cu₁ – Zn – Pb – Sn₂ – Ag – Cd – Au₃ – Cu₂ – Hg, As₂, Sb – Ba. Здесь индексы 1, 2, 3 при символах элементов означают, что в зональном ряду, в зависимости от минеральных форм, элементы могут занимать различное положение. В частности, Sn₁ отвечает отложению олова в форме касситерита (SnO₂), а Sn₂ в форме более низкотемпературного станнина (CuFeSnS₄), положение As₁ соответствует отложению арсенопирита (FeAsS), а As₂ – аурипигмента (As₂S₃) и т.д. Этот ряд имеет статистический характер, поскольку в каждом конкретном месторождении могут наблюдаться отдельные перестановки, без нарушения существа общей последовательности.

Наиболее ярко ряды зонального отложения элементов проявлены в форме изменения с глубиной минерального и химического состава рудных тел обширного класса гидротермальных месторождений.

Вертикальная зональность гидротермальных месторождений осложняется склонением залежей, многостадийным характером рудоотложения и последующим метаморфизмом, одновременное действие которых закономерно приводит к наблюдаемой последовательности

отложения элементов по глубине. Господствующие представления о движении гидротерм из глубины в сторону к дневной поверхности, сопровождаемом падением температуры и давления растворов, привели уже давно к созданию устойчивых геологических представлений о высокотемпературных, труднолетучих элементах (W, Mo, Sn, Co и др.), о средне-температурных (Cu, Pb, Zn и др.) и о низкотемпературных, легколетучих элементах (As, Sb, Hg и др.). представлений о высокотемпературных, труднолетучих элементах (W, Mo, Sn, Co и др.), о средне-температурных (Cu, Pb, Zn и др.) и о низкотемпературных, легколетучих элементах (As, Sb, Hg и др.). На рисунке 4.2 приведена модель первичных ореолов гидротермального месторождения. Для удобства её рассмотрения рудный элемент условно назван «свинец», низкотемпературный элемент-спутник – «ртуть», высокотемпературный – «кобальт» и легколетучий элемент – «йод» [4].



1 – рудное тело. Первичные ореолы: 2 – свинца; 3 – ртути; 4 – йода; 5 – кобальта; 6 – современные отложения. Римскими цифрами обозначены номера горизонтов

Рисунок 4.2 - Модель первичных ореолов гидротермального месторождения

В соответствие с этим общепринято пользоваться терминами «температура рудоотложения», «высокотемпературные» или «низкотемпературные элементы», понимая под «температурой» всю сумму физико-химических условий, отвечающих процессу рудообразования, включая влияние глубины от палеоповерхности, роль рН и Eh среды и прочих факторов. Температура эндогенного рудообразования падает по направлению к дневной поверхности и от центральной части рудной зоны к периферии (по простиранию и по мощности). Подобная картина отвечает простейшей модели рудоотложения в однородной изотропной среде и в природных условиях существенно осложняется. Первым признаком однотипности геохимической зональности двух месторождений является сходство их рядов последовательного отложения элементов [4].

Для характеристики геохимической зональности оруденения служат величины отношений между надфоновыми содержаниями двух или нескольких элементов типоморфного комплекса. В общем случае зональность исследуется в направлении пространственных координат: X – вкост простирания объекта (поперечная зональность), Y – по его простиранию (продольная зональность) и Z – по падению (осевая зональность). Обозначая показатель зональности (отношение между содержаниями элементов) греческой буквой n («ню»), задачу изучения зональности рудных месторождений можно определить как исследование зависимости вида: $n=f(x,y,z)$ или ее составляющих, например $nyz = f(y,z)$ – в плоскости рудного тела или $nz = f(z)$ – по падению залежи (на глубину). Последний показатель – вертикальной геохимической зональности (nz) играет первостепенную роль при оценке уровня эрозионного среза рудопроявлений и поисках слепых рудных тел. Это касается крутопадающих рудоносных зон, для рудных тел субгоризонтального залегания продольная зональность обнаруживается как горизонтальная, а поперечная совпадает с вертикальной зональностью. Показатель зональности является вектором,

характеризуясь в любой точке геохимического поля рудного объекта своей величиной (n) и направлением максимальной изменчивости по нормали к линиям равных значений («изоню») [4].

Геохимическая зональность свойственная рудному объекту проявляется в закономерном непрерывном убывании или непрерывном возрастании численных значений n_i вдоль рассматриваемого направления.

Таким образом, исследование геохимической зональности рудных месторождений сводится к решению двух важнейших задач: выявлению рядов зонального отложения элементов типоморфного комплекса конкретного оруденения и выбору геохимических критериев для оценки уровня эрозионного среза и прогноза на глубину выявляемых рудопроявлений в метрике однотипных эталонных месторождений [4].

Для сравнительной оценки зональности оруденения и выбора на этой основе наиболее надежных элементов-индикаторов существуют различные методы составления рядов зонального отложения элементов типоморфного комплекса. Н.Н. Сочевановым представлен способ выявления рядов зональности по положению «центров тяжести», суть которого заключается в построении графиков изменения с глубиной линейных продуктивностей каждого из элементов-индикаторов. Расчеты ведутся по формуле:

$$z_M = \sum_{i=1}^f M_i z_i / \sum_{i=1}^f M_i,$$

где f – число опробованных уровней.

Метод Е.М. Квятковского заключается в ранжировании элементов по градиентам продуктивностей рудной зоны. На всех интервалах опробования оруденения определяются градиенты продуктивности как отношения продуктивностей верхнего горизонта к нижнему для каждого из рудных элементов. Найденным значениям присваиваются ранговые номера.

Положение элемента в зональном ряду определяется по сумме рангов, присвоенных каждому их элементов [8].

Наиболее простым способом выявления рядов зонального отложения элементов является метод коэффициентов контрастности зональности, предложенный С.В. Григорьяном. Метод заключается в расчете отношений количественных характеристик (линейных продуктивностей, средних содержаний) каждого элемента на верхнем и нижнем горизонтах исследуемого разреза. Исходные величины продуктивности зоны переводятся в «метрогеофоны» и пересчитываются для каждого горизонта по формуле:

$$M_i^{\text{отн.}} = M_i / \sum_{i=1}^k M_i$$

где k – число элементов.

Практическое значение выявленных рядов заключается в том, что с их помощью удастся определить наиболее контрастные и надежные для оценки уровня эрозионного среза и прогноза оруденения на глубину индикаторные отношения [8].

Следует отметить, что использование метода коэффициентов контрастности зональности дает однозначные результаты только при условии монотонного изменения по вертикали продуктивностей элементов типоморфного комплекса коренного оруденения.

Исследование геохимической зональности рудных месторождений проводится обычно по серии разрезов, на каждом из которых одним из рассмотренных методов устанавливаются частные ряды зонального отложения элементов типоморфного комплекса. Мерой сходства частных рядов зональности служат величины ранговой корреляции, при наличии значимых положительных связей выводится общий ряд зональности оруденения по сумме порядковых номеров элементов в частных рядах [4].

Второй важнейшей задачей при изучении зональности рудных месторождений является выбор геохимических критериев для последующей оценки выявляемых рудопроявлений в метрике однотипных эталонных месторождений [4].

В качестве критериев оценки выявляемых рудопроявлений используются геохимические показатели зональности v – безразмерные отношения между средними надфоновыми содержаниями (или продуктивностями) двух или нескольких элементов, закономерно изменяющиеся в контуре рудного объекта. Показатели зональности традиционно применялись для характеристики изменчивости оруденения по глубине или по простиранию в виде парных отношений между содержаниями элементов: Pb/Zn (полиметаллические месторождения), Ag/Au (золоторудные и золото-серебряные), Cu/Mo (медно-порфиновые) и др. В зависимости от числа химических элементов, участвующих в числителе и знаменателе геохимических элементов зональности, различаются показатели 1, 2 и более высоких порядков. Наибольшей разрешающей способностью, позволяющей уверенно ориентироваться в метрике рудной зоны, обладают геохимические показатели, числитель и знаменатель которых сформированы из элементов, занимающих крайние положения в зональном ряду [4].

Для установления рядов зонального отложения был использован способ ранжирования элементов по средним центрам тяжести графиков парных отношений продуктивности (А.В.Гаранин) [7].

$$z_v = \sum_{i=1}^f v_i z_i / \sum_{i=1}^f v_i \quad (6)$$

где z_v - центры тяжести графиков парных отношений элементов, f -число уровней;

f – число уровней.

4.1.4. Построение геохимических разрезов

Следующим шагом обработки данных является построение карт с помощью программы Surfer. Поскольку при обработке данных программа отстраивает регулярную сетку, отличную от сети опробования необходимо также производить расчёт фоновых и аномальных значений для точек полученной сетки. Это также позволяет снизить порог обнаружения аномалий и служит для более корректного построения геохимических полей.

Исходные данные из таблицы формата Microsoft Excel переводились в формат программы (.dat), далее по каждому элементу создавался Grid-файл, который содержит регулярную сетку, создаваемую программой и математически вычисленные содержания элемента в этих точках. Grid-файл создавался одним из наиболее распространенных методов – Кригинга (Kriging).

При использовании этого метода необходимо было задать параметры поискового эллипса. На основании сети опробования задаются следующие данные:

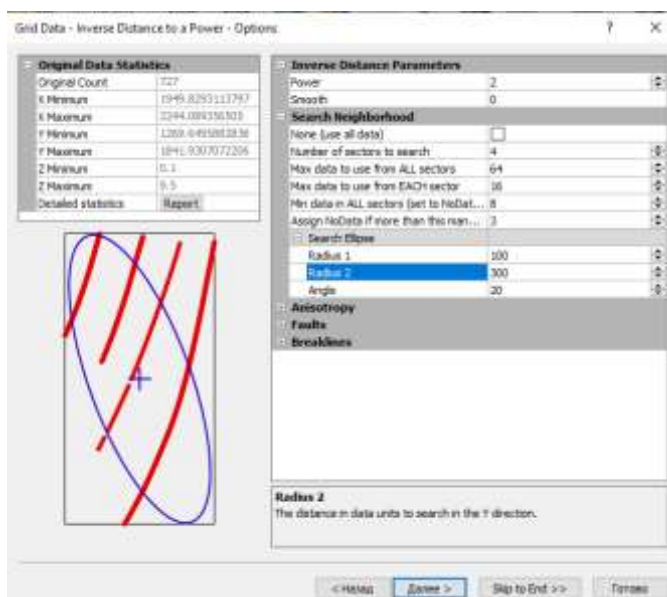


Рисунок 4.3. – Параметры поискового эллипса

Наклон эллипса должен быть перпендикулярен скважинам, большая ось проходить вкост скважин, и быть больше, чем расстояние между скважинами, меньший радиус должен проходить по скважинам.

Геометрия линии grid представлена на рисунке 4.4.:

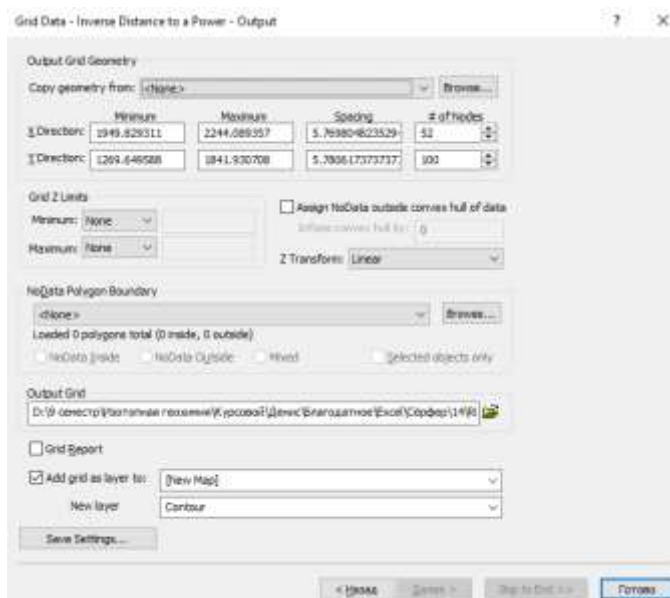


Рисунок 4.4. – Построение в grd-файле

Непосредственно построение карт выполняется из grd-файлов, при этом для выделения аномальных зон применяются рассчитанные аномальные значения для РЛ 14-18-21-24 Благодатного месторождения.

В дальнейшем нужно провести анализ полученных аномалий на основе их пространственной связи с определёнными породами.

4.2. Результаты исследования

В данном разделе рассмотрены результаты изучения геохимических особенностей пород и руд Благодатного месторождения на примере рудного тела № 1.

4.2.1. Статистическая обработка данных

В данном разделе рассматривается геохимическая характеристика руд и пород, развитых в пределах рудоносной минерализованной зоны. Значения основных статистических параметров элементов в рудах и породах (РЛ 14,18, 21, 24) приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Значения основных статистических параметров элементов во вмещающих породах минерализованной зоны (Au - $n \cdot 10^{-4}$ г/т, остальные элементы - $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	В целом по породам			
	C_{\min}	C_{\max}	\bar{C}	ϵ
1	2	3	4	5
Pb	0,85	20	3,56	1,39
Cu	1,5	150	5,23	1,36
Zn	2,7	150	12,57	1,53
Co	0,3	10	2,81	1,56
V	2	30	12,59	1,35
Cr	4	30	12,32	1,29
Ni	0,25	30	4,54	1,28
Ti	40	1000	473,83	1,32
Mn	10	690	62,39	1,72
Mo	0,05	2	0,22	1,38
Sn	0,2	1,5	0,46	1,28
Ba	2,2	800	47,10	1,81
Be	0,05	0,6	0,31	1,26
Nb	0,5	3	1,62	1,25
B	1	20	4,18	1,35
Bi	0,02	1,3	0,05	2,69
W	0,05	100	0,97	2,23
Ag	0,01	0,42	0,02	1,56
As	0,5	400	6,28	2,67

Элеме	C_{\min}	C_{\max}	\bar{C} , в величинах
-------	------------	------------	-------------------------

нг			
1	2	3	4
Au	0,1	1,0	0,2

Как видно из таблицы, содержания ряда элементов колеблются в довольно широких пределах. Наибольшая изменчивость, в целом, в породах отмечается у мышьяка, серебра, вольфрама, висмута, бария, марганца, кобальта и цинка (величина стандартного множителя $\varepsilon^{\pm 1} > 1,5$), наименьшая у бериллия, никеля, хрома, ниобия.

Таблица 2 – Значения основных статистических параметров элементов в рудах минерализованной зоны (Au - $n \cdot 10^{-4}$ г/т, остальные элементы - $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	В целом по руде			
	C _{min}	C _{max}	\bar{C}	ε
1	2	3	4	5
Pb	1	60	4,07	1,36
Cu	1,5	200	5,34	1,36
Zn	6	440	15,61	1,50
Co	1	15	3,41	1,45
1	2	3	4	5
V	3	40	13,33	1,33
Cr	8	30	12,83	1,28
Ni	3	40	5,12	1,26
Ti	300	1000	568,52	1,24
Mn	0,05	300	61,57	1,63
Mo	0,05	1,5	0,23	1,37
Sn	0,2	1,5	0,49	1,30
Ba	2,7	100	47,12	1,81
Be	0,05	3	0,30	1,31
Nb	1	3	1,75	1,23
B	1	30	4,69	1,41
Bi	0,02	1,3	0,03	2,57

W	0,05	200	1,59	2,28
Ag	0,01	0,45	0,03	1,62
As	0,5	800	36,50	2,81

Элемент	C_{\min}	C_{\max}	\bar{C} , в величинах
1	2	3	4
Au	0,1	38,3	2,1

Для руд, в целом, отмечается изменчивость у мышьяка, серебра, вольфрама, висмута, марганца и бария (величина стандартного множителя $\varepsilon^{\pm 1} > 1,5$), наименьшая изменчивость наблюдается у олова, титана, ниобия, бериллия.

Для установления типоморфного комплекса элементов необходимо выявить обогащение руд относительно вмещающих пород. В решении этой задачи поможет коэффициент концентрации. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты концентраций руд относительно вмещающих пород

Элемент	$\bar{C}_{\text{пор}}$	$\bar{C}_{\text{руд}}$	K_k
1	2	3	4
Pb	3,56	4,07	1,14
Cu	5,23	5,34	1,02
Zn	12,57	15,61	1,24
Co	2,81	3,41	1,21
V	12,59	13,33	1,06
Cr	12,32	12,83	1,04
Ni	4,54	5,12	1,13
Ti	473,83	568,52	1,20
Mn	62,39	61,57	0,99
Mo	0,22	0,23	1,07
Sn	0,46	0,49	1,08
Ba	47,10	47,12	1,00
Be	0,31	0,30	0,97
Nb	1,62	1,75	1,08
B	4,18	4,69	1,12

Bi	0,05	0,03	0,66
W	0,97	1,59	1,64
Ag	0,02	0,03	1,48
As	6,28	36,50	5,81
Au	0,2	2,1	10,97

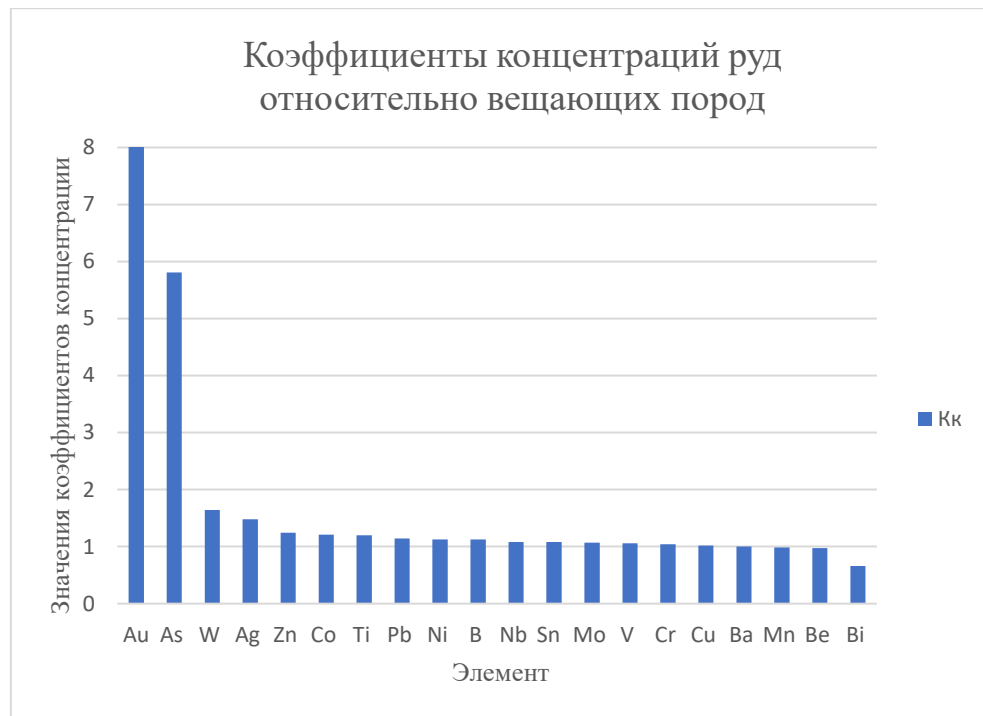


Рисунок 4.5. – Коэффициенты концентраций руд относительно вещающих пород

Анализ значений коэффициентов концентрации показывает, что руды по отношению к породам обогащены золотом (10,97), мышьяком (5,81), серебром (1,48) и вольфрамом (1,64). Кроме того, к элементам типоморфного комплекса отнесены элементы, которые концентрируются в сульфидах руд: свинец (галенит), цинк (сфалерит), медь (халькопирит) и кобальт.

4.2.2. Корреляционный анализ

Направление и сила связи между золотом и элементами типоморфного комплекса определялись с помощью коэффициента корреляции. Расчет коэффициентов корреляции проводился между логарифмами содержаний элементов. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Сильная корреляционная связь устанавливается между Mn-Ba (0,72), средняя корреляционная связь: Pb-Zn (0,58), V-Cr (0,66), Cr-Ti (0,50), V-Sn (0,57), Ba-Be (0,69) и Cu-W (0,58), слабая корреляционная связь: Pb-Co (0,30), Pb-V (0,32), Pb-Mn (0,41), Pb-Sn (0,31), Cu-Ni (0,37), Zn-Co (0,40), Zn-Sn (0,33), Co-Cr (0,39), Co-Ni (0,49), Co-Sn (0,32), V-Ti (0,46), V-Mn (0,43), Cr-Ni (0,39), Cr-Mn (0,36), Cr-Mo (0,37), Ni -Ti (0,42), Ni-Mo (0,39), Ti-Mn (0,37), Mn-Sn (0,46), Mn-Be (0,49), Mo-Ba (0,36), Mo-Be (0,36), Nb-Ag (0,42), B-Ag (0,41), W-Au (0,26), Ag-Au (0,18), As-Au (0,33)

Таблица 4 – Матрица парных коэффициентов корреляции по рудоносным породам РЛ 14, 18, 21, 24 (n=939)

	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Ti	Mn	Mo	Sn	Ba	Be	Nb	B	B	W	Ag	As	Au	
Pb	1	0,16	0,58	0,30	0,32	0,26	0,10	0,12	0,41	0,07	0,31	0,23	0,08	0,14	0,14	0,00	0,06	0,12	0,19	0,08	
Cu		1	0,09	0,29	0,18	0,20	0,37	0,14	0,28	0,28	0,08	0,28	0,26	-0,03	-0,04	-0,13	0,58	-0,05	0,11	0,14	
Zn			1	0,40	0,24	0,22	0,16	0,19	0,26	0,05	0,33	0,04	-0,03	0,12	0,15	0,08	0,02	0,15	0,17	0,05	
Co				1	0,38	0,39	0,49	0,34	0,24	0,19	0,32	0,12	0,13	-0,04	0,20	0,07	0,17	0,05	0,35	0,12	
V					1	0,66	0,28	0,46	0,43	0,16	0,57	0,28	0,15	0,17	0,18	-0,17	0,17	0,02	0,06	0,00	
Cr						1	0,39	0,50	0,36	0,37	0,50	0,26	0,18	0,15	0,15	-0,19	0,24	0,01	0,04	0,03	
Ni							1	0,42	0,16	0,39	0,09	0,15	0,16	-0,03	-0,05	-0,22	0,40	0,01	0,17	0,13	
Ti								1	0,37	0,22	0,33	0,27	0,29	-0,03	0,07	-0,36	0,25	-0,19	0,10	0,04	
Mn									1	0,29	0,46	0,72	0,49	0,00	-0,05	-0,40	0,33	-0,25	0,09	0,13	
Mo										1	0,17	0,36	0,36	-0,02	-0,01	-0,33	0,33	-0,15	0,13	0,17	
Sn											1	0,21	0,05	0,32	0,34	-0,03	0,14	0,17	0,17	0,07	
Ba												1	0,69	-0,22	-0,34	-0,64	0,35	-0,53	-0,04	0,08	
Be													1	-0,34	-0,21	-0,52	0,23	-0,53	-0,03	0,04	
Nb														1	0,26	0,16	0,05	0,42	0,02	0,02	
B															1	0,30	-0,11	0,41	0,28	0,01	
Bi																1	-0,27	0,46	0,11	0,00	
W																	1	0,03	0,12	0,26	
Ag																		1	0,23	0,18	
As																			1	0,33	
Au																					1



Рисунок 4.6. – Корреляционная дендрограмма для рудных элементов типоморфного комплекса

Среди элементов типоморфного комплекса выделяются следующие группы элементов: Ag-Bi, Au-As, Be-Ba, Cr-V, Ni-Co, W-Cu, Zn-Pb. Как видно из таблицы 4, золото, в целом, по руде имеет корреляционную значимую связь лишь с мышьяком, что характерно для месторождений золото-кварцевой формации Енисейского Кряжа и отражает парагенетическую связь золота и арсенопирита в рудах.

4.2.3. Геохимическая зональность

Методика расчета зональности приведена на основе обработки данных по РЛ-24. Для выявления зональности были посчитаны парные отношения

содержаний между элементами типоморфного комплекса, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Значения средних содержаний элементов по скважинам

Элемент	$\bar{C}_{\text{СКВ}, 67}$	$\bar{C}_{\text{СКВ}, 68}$	$\bar{C}_{\text{СКВ}, 69}$	$\bar{C}_{\text{СКВ}, 70}$	$\bar{C}_{\text{СКВ}, 73}$
1	2	3	4	5	6
Pb	3,43	4,21	3,89	3,42	3,54
Cu	6,17	5,17	5,14	4,72	6,63
Zn	14,86	15,21	15,86	9,29	10,20
Co	3,76	4,59	3,38	2,27	3,96
V	13,63	12,26	14,00	13,55	14,75
Cr	14,24	13,14	14,63	10,51	11,23
Ni	5,68	5,34	5,66	4,55	4,84
Ti	588,59	593,69	586,53	403,20	400,00
Mn	56,09	58,91	55,97	44,70	40,31
Mo	0,30	0,28	0,31	0,21	0,20
Sn	0,46	0,46	0,49	0,42	0,43
Ba	49,07	49,24	49,18	48,82	58,46
Be	0,30	0,36	0,30	0,27	0,34
Nb	1,83	1,48	1,82	1,52	1,42
B	4,86	6,13	5,46	3,53	4,69
Bi	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
W	1,97	1,24	1,44	1,48	1,47
Ag	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
As	61,52	50,39	28,47	23,79	61,83
Au	2,03	2,20	1,53	1,68	1,67

Следующим шагом рассчитывались отношения каждого элемента с оставшимися. В таблице 6 приведен расчет на примере свинца.

Таблица 6 – Суммы отношений свинца с другими элементами

Отношение элементов	СКВ. 67	СКВ. 68	СКВ. 69	СКВ. 70	СКВ. 73
1	2	3	4	5	6
Pb/Cu	0,555	0,8154	0,757	0,724	0,533
Pb/Zn	0,231	0,2771	0,245	0,368	0,347
Pb/Co	0,911	0,9173	1,150	1,506	0,892
Pb/V	0,251	0,3436	0,278	0,252	0,240
Pb/Cr	0,241	0,3208	0,266	0,325	0,315
Pb/Ni	0,604	0,7897	0,687	0,750	0,730
Pb/Ti	0,006	0,0071	0,007	0,008	0,009
Pb/Mn	0,061	0,0715	0,069	0,076	0,088

1	2	3	4	5	6
Pb/Mo	11,242	15,2819	12,678	16,356	17,680
Pb/Sn	7,440	9,2321	7,872	8,161	8,294
Pb/Ba	0,070	0,0856	0,079	0,070	0,060
Pb/Be	11,335	11,7410	12,896	12,603	10,420
Pb/Nb	1,868	2,8463	2,138	2,254	2,498
Pb/B	0,704	0,6878	0,712	0,967	0,754
Pb/Bi	142,840	203,7819	186,828	170,826	35,360
Pb/W	1,736	3,3903	2,693	2,312	2,402
Pb/Ag	90,894	167,7033	109,490	98,383	82,034
Pb/As	0,056	0,0836	0,137	0,144	0,057
Pb/Au	1,687	1,9142	2,542	2,035	2,116
Сумма	272,7301	420,2906	341,524	318,123	164,827

Далее по формуле $z_v = \sum_{i=1}^f v_i z_i / \sum_{i=1}^f v_i$ (7) были посчитаны центры тяжести графиков парных отношений элементов:

$$\begin{aligned}
 z_{Pb} &= (272,73+420,29*2+341,53*3+318,12*4+164,83*5)/1517,5 &= 2,79 \\
 z_{Cu} &= (492,2++515,69*2+451,73*3+439,78*4+309,88*5)/2209,2 &= 2,80 \\
 z_{Zn} &= (1186,27+1519,53*2+1395,86*3+866,41*4+477,54*5)/5445,61 &= 2,62 \\
 z_{Co} &= (299,59+458,26*2+296,92*3+210,92*4+184,86*5)/1450,57 &= 2,67 \\
 z_{V} &= (1080,92+1219,38*2+1223,49*3+1256,95*4+681,89*5)/5462,63 &= 2,86 \\
 z_{Cr} &= (1136,66+1312,28*2+1287,83*3+980,9*4+525,57*5)/5243,24 &= 2,70 \\
 z_{Ni} &= (449,69+530,1*2+494,09*2+421,63*4+223,23*5)/2118,72 &= 2,74 \\
 z_{Ti} &= (47022,3+56953,6*2+51672,2*3+37660,27*4+18757,7*5)/214466 &= 2,64 \\
 z_{Mn} &= (4480,34+5889*2+4929,99*3+4174,55*4+1889,19*5)/21363,07 &= 2,68 \\
 z_{Mo} &= (23,35+26,57*2+26,02*3+18,51*4+8,38*5)/102,82 &= 2,63 \\
 z_{Sn} &= (35,79+44,63*2+42,51*3+38,1*4+18,99*5)/180,04 &= 2,78 \\
 z_{Ba} &= (3919,56+4921,86*2+4331,91*3+4558,96*4+2740,46*5)/20472,7 &= 2,87 \\
 z_{Be} &= (23,15+34,88*2+25,56*3+24,32*4+14,92*5)/122,83 &= 2,78 \\
 z_{Nb} &= (145,56+147,01*2+159,17*3+140,56*4+65,39*5)/657,68 &= 2,75 \\
 z_{B} &= (387,62+611,52*2+480,1*3+328,86*4+219*5)/2027,11 &= 2,69 \\
 z_{Bi} &= (0,92+1,07*2+0,83*3+0,87*4+3,69*5)/7,37 &= 3,73 \\
 z_{W} &= (156,66+123,26*2+126,17*3+137,02*4+68,08*5)/611,16 &= 2,73 \\
 z_{Ag} &= (2,01+1,51*2+2,13*3+2,24*4+1,02*5)/8,92 &= 2,86 \\
 z_{As} &= (4914,15+5036,73*2+2506,9*3+2220,95*4+2898,8*5)/17577,5 &= 2,61
 \end{aligned}$$

$$z_{Au} = (161,3 + 219,09 \cdot 2 + 133,73 \cdot 3 + 155,79 \cdot 4 + 77,38 \cdot 5) / 747,3 = 2,69$$

По итогам расчетов для РЛ 24 был выявлен ряд вертикальной зональности: Bi-Ba-(V, Ag)-Cu-Pb-(Be, Sn)-Nb-W-Cr-(B, Au)-Mn-Zn-As.

Аналогичным образом были составлены ряды вертикальной зональности для разведочных линий 14, 18 и 21. Выглядят они следующим образом:

РЛ 14: Bi-Ag-B-Nb-V-(Pb, As, Co)-Sn-(Zn, Cr)-Au-Ti-Mn-Ni-Ba-Cu-Be-Mo-W.

РЛ 18: (Mn, Zn)-(Cr, Ti)-Ba-Be-(Mo, Cu, V)-Ni-(B, Sn)-(Pb, W)-Nb-Bi-(As, Co)-Ag-Au.

РЛ 21: Bi-Be-Cu-Ni-Co-Mo-Pb-(Zn, Nb)-Ba-Cr-Ti-(Ag, Au)-V-B-Sn-(As, W)-Mn.

Выявлены монотонно убывающие показатели с глубиной: Cr/Pb, Sn/Pb.

Для составления обобщенного ряда вертикальной зональности были рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции между разведочными линиями. Результаты расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Ранговые коэффициенты корреляции

	РЛ 14	РЛ 18	РЛ 21	РЛ 24
1	2	3	4	5
РЛ 14	1	-0,613	0,387	0,286
РЛ 18		1	0,000	-0,101
РЛ 21			1	0,327
РЛ 24				1

Полученные значения ранговых коэффициентов корреляции достаточно низкие, следовательно, составление обобщенного ряда вертикальной зональности не было осуществлено.

4.2.4. Построение геохимических разрезов на примере РЛ 24

Для изучения характера распределения элементов на глубину в плоскости опорных разрезов проведено построение изолиний аномальных содержаний элементов в соответствии с приложением Г.

По приведенной методике в пункте 4.1.4. был построен геохимический разрез для семи элементов (рис. 4.7 - 4.13.), Аномальные концентрации рассчитаны для одной-девяи точек ($C_{A1}, C_{A2}, \dots, C_{A9}$) и представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет фоновых и аномальных значений элементов по РЛ 24

Элемент	Pb	Cu	Zn	W	As	Ag	Au
1	2	3	4	5	6	7	8
$C_{фон}$	3,28	5,07	11,17	1,03	5,89	0,02	0,2
C_{A1}	8,37	14,02	38,87	16,87	78,15	0,099	1,16
C_{A2}	6,36	10,41	26,98	7,45	36,65	0,065	0,89
C_{A3}	5,63	9,12	22,95	5,18	26,20	0,054	0,76
C_{A4}	5,24	8,43	20,84	4,18	21,45	0,047	0,69
C_{A5}	4,98	7,99	19,51	3,61	18,72	0,044	0,64
C_{A6}	4,81	7,68	18,59	3,23	16,92	0,042	0,60
C_{A7}	4,67	7,45	17,89	2,97	15,64	0,039	0,58
C_{A8}	4,56	7,26	17,36	2,78	14,69	0,038	0,55
C_{A9}	4,48	7,12	16,93	2,62	13,94	0,037	0,53

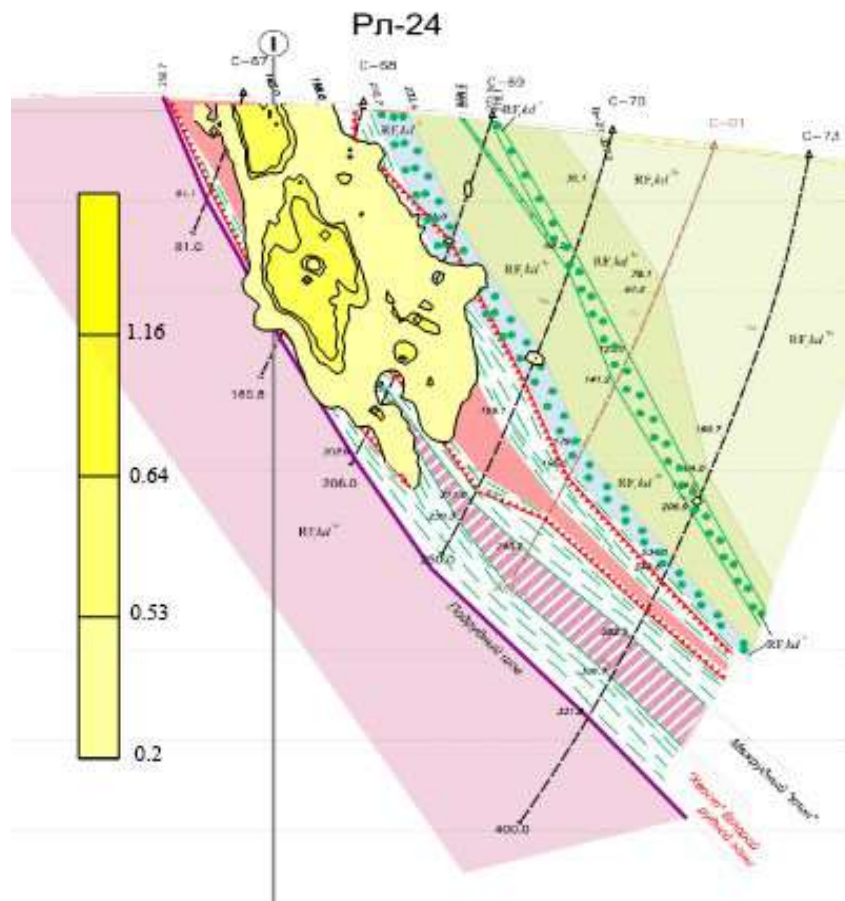


Рисунок 4.7. – Характер распределения золота в плоскости разреза

Золото образует аномальные зоны вытянутой неправильной формы, отражающие положение рудного тела в разрезе. Аномалии с самыми высокими содержаниями золота в большей степени приурочены к верхней и средней частям рудного тела и наблюдаются в кварцитовидных двуслюдяных сланцах.

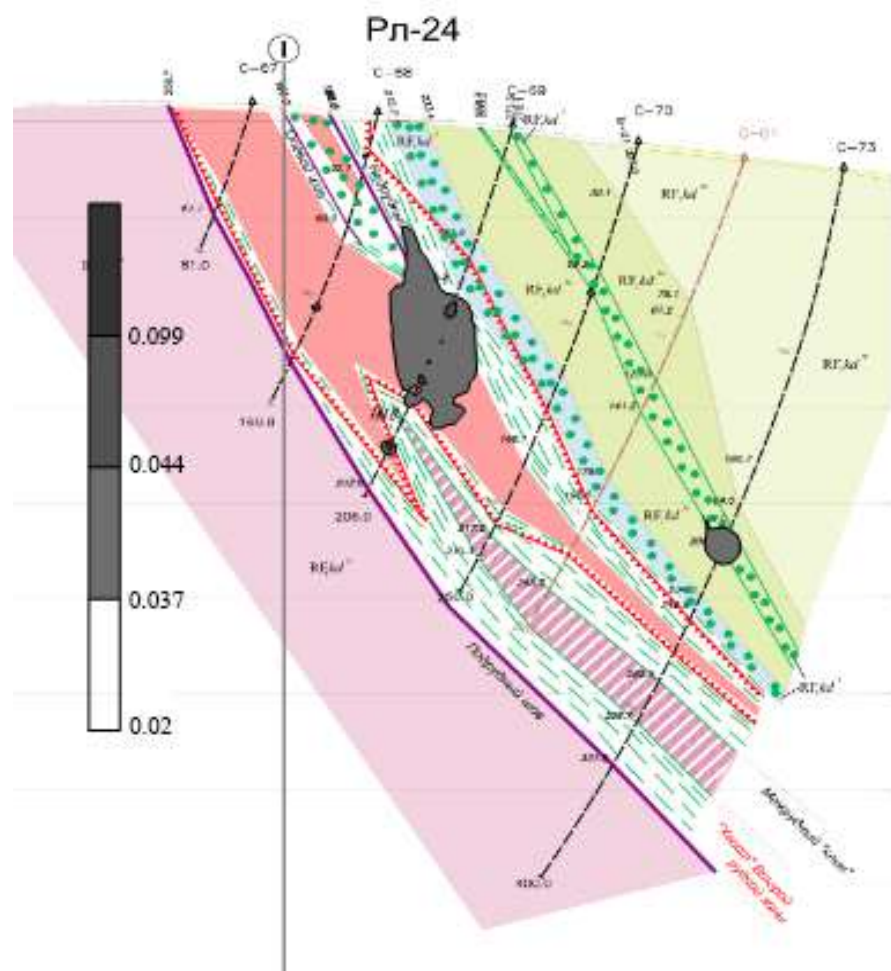


Рисунок 4.8.- Характер распределения серебра в плоскости разреза

На разрезе выделяется два небольших ореола серебра неправильной формы, первый и самый крупный приурочен к средней части рудного тела, второй же ореол проявлен в нижней части разреза, в кварцитовидных двуслюдяных сланцах.

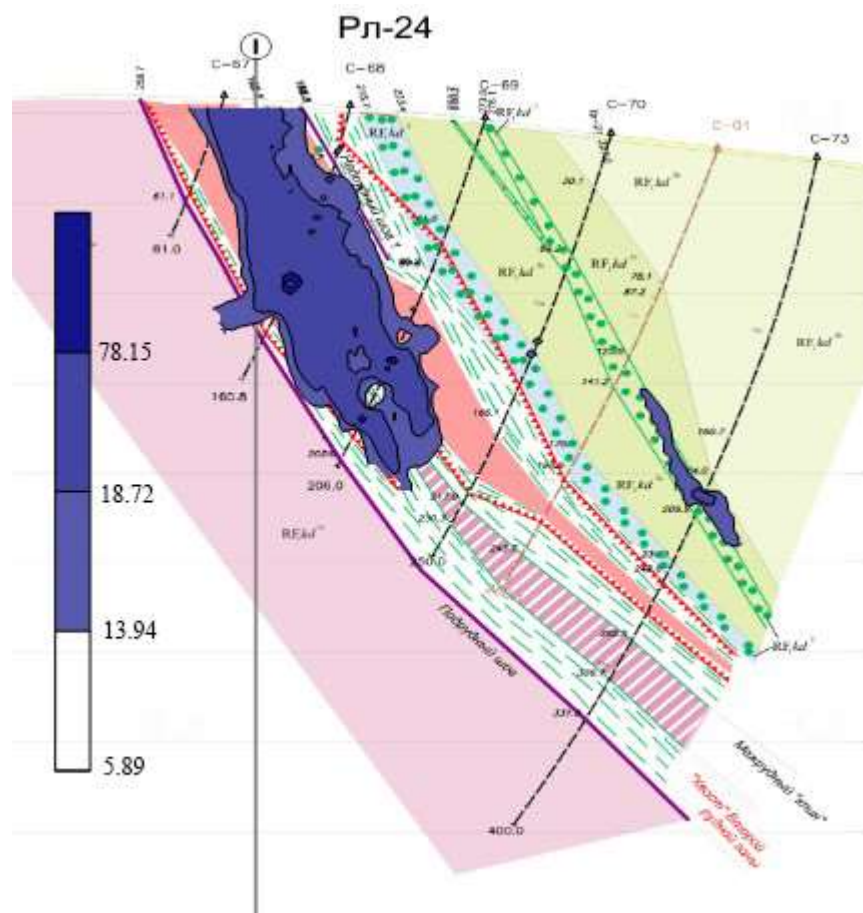


Рисунок 4.9. - Характер распределения мышьяка в плоскости разреза

Аномалии мышьяка пространственно совпадают с аномальными концентрациями золота, которые приурочены к верхней и средней частям рудного тела и проявлены в кварцитовидных двуслюдяных сланцах.

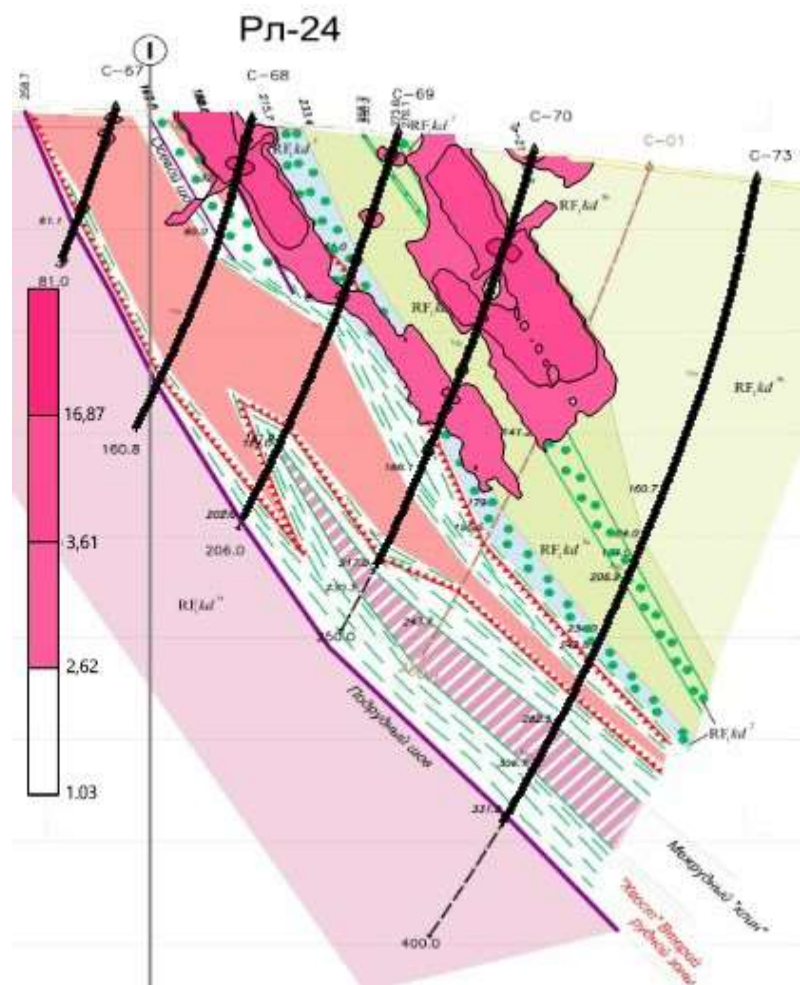


Рисунок 4.10. - Характер распределения вольфрама в плоскости разреза

Аномалии вольфрама проявлены в надрудной части в виде двух ореолов, которые практически не попадают в рудное тело. Они приурочены к кварцитовидным двуслюдяным сланцам и метасоматической зоне.

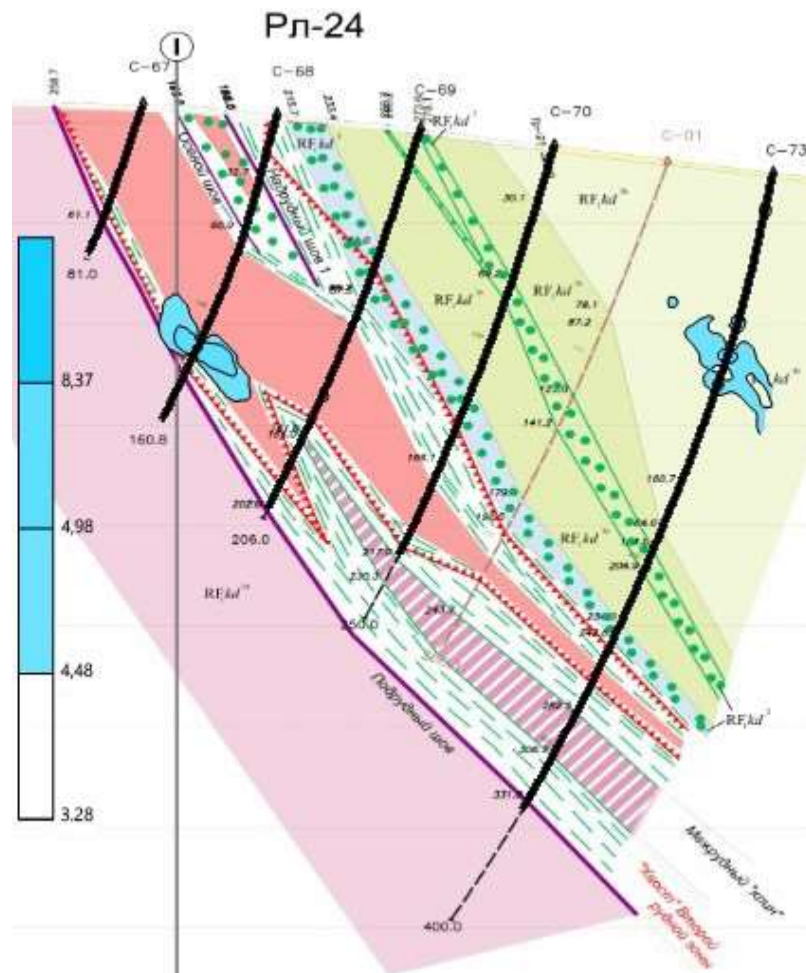


Рисунок 4.11. - Характер распределения свинца в плоскости разреза

Свинец сосредоточен как в рудном теле, так и во вмещающих породах, более ярко выраженные аномалии свинца приурочены к лежащему боку.

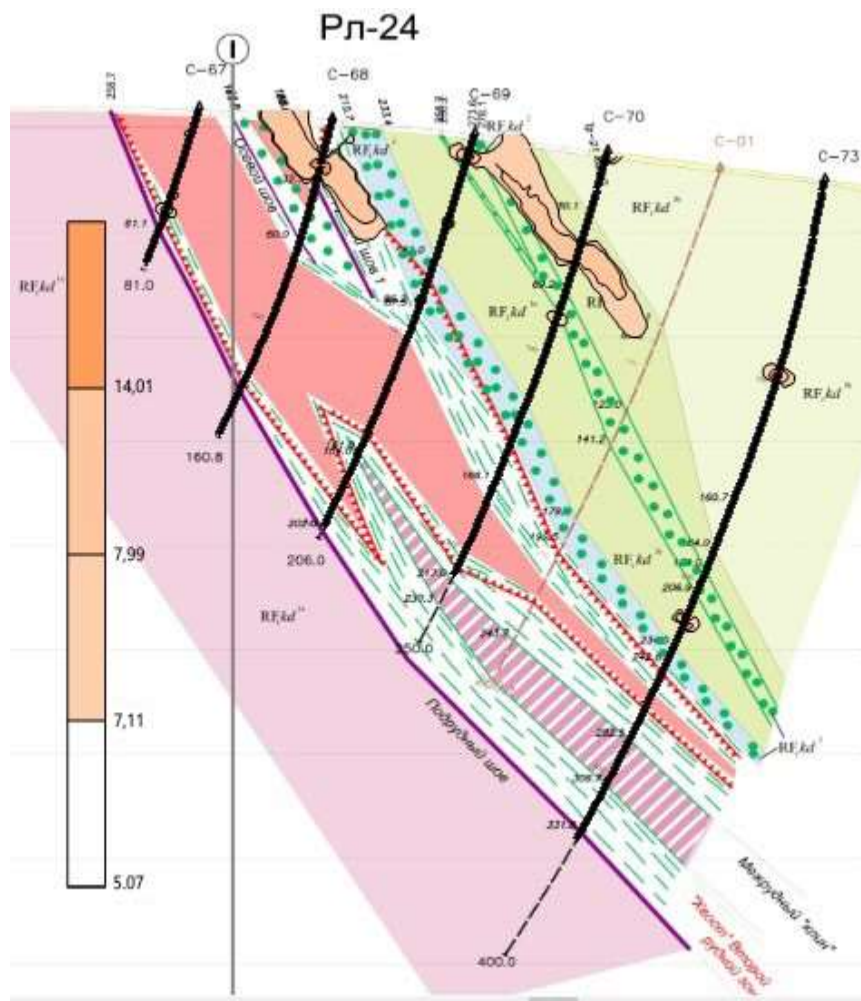


Рисунок 4.12. - Характер распределения меди в плоскости разреза

Медь образует два ореола в надрудной части, приуроченных к кварцитовидным двуслюдяным сланцам, в рудах они редки.

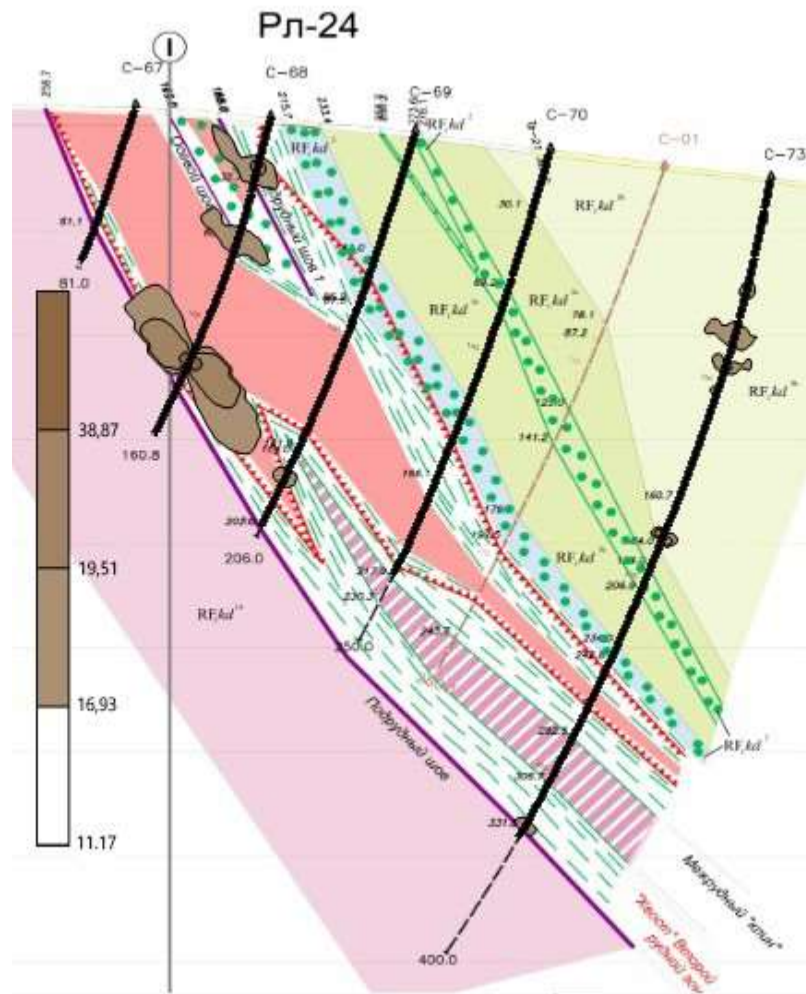


Рисунок 4.13. - Характер распределения цинка в плоскости разреза

Аномалии цинка практически не попадают в рудное тело, обогащаются нижний и верхний контакты в верхней части минерализованной зоны.

4.2.5. Изучение латеральной зональности на примере РЛ 14, 21 и 24

Для исследования латерального ряда зональности были составлены три ряда зонального отложения с юго-востока на северо-запад по скважинам: 22, 52, 67 (верхняя часть разреза), 23, 54, 69 (средняя часть разреза) и 24, 56, 73 (нижняя часть разреза). В результате были составлены три ряда зональности. Для верхней части разреза: Au-Ag-Ba-Mn-Cr-(V, B, Nb)- As-Mo-(Sn, Ti)-Ni-(Pb, Bi, W)-Co-Cu-Be-Zn; для средней части разреза: Au-B-Co-Ag-Mo-Cr-V-(W, Sn)-

Ti-Ni-Cu-Nb-(Be, Mn)-Ba-Bi-Zn-Pb-As; для нижней части разреза: Ag-W-As-(Au, V)-B-(Ni, Cu)-Cr-Ba-(Ti, Sn)-Nb-(Bi, Be)-(Co, Mo)-Pb-Zn-Mn.

После установления рядов зонального отложения необходимо проверить наличие корреляционной связи, которое позволит составить обобщенный ряд продольной зональности. Значение полученной ранговой корреляции между рядами составило +0,4.

Полученный ряд латеральной зональности для рудных элементов типоморфного комплекса выглядит следующим образом (с юго-востока на северо-запад): Zn-Pb-Cu-As-W-Ag-Au.

По результатам было выявлено 12 монотонно меняющихся с глубиной показателя: монотонно убывают Pb/Ag, Zn/Cr, Zn/Au, Sn/Ag, W/Ag, возрастают Au/Co, Au/Ni, Au/Ti, Au/Mo, Au/Be, Au/Bi, Au/As.

Для наглядности и более детального изучения латеральной зональности были составлены геохимические разрезы по трем разведочным линиям (РЛ-14, -21, -24) для главных рудных элементов (золото, мышьяк, серебро и вольфрам), представленные на рисунках 4.14 – 4.17 в соответствии с приложениями Д и Е...

Au

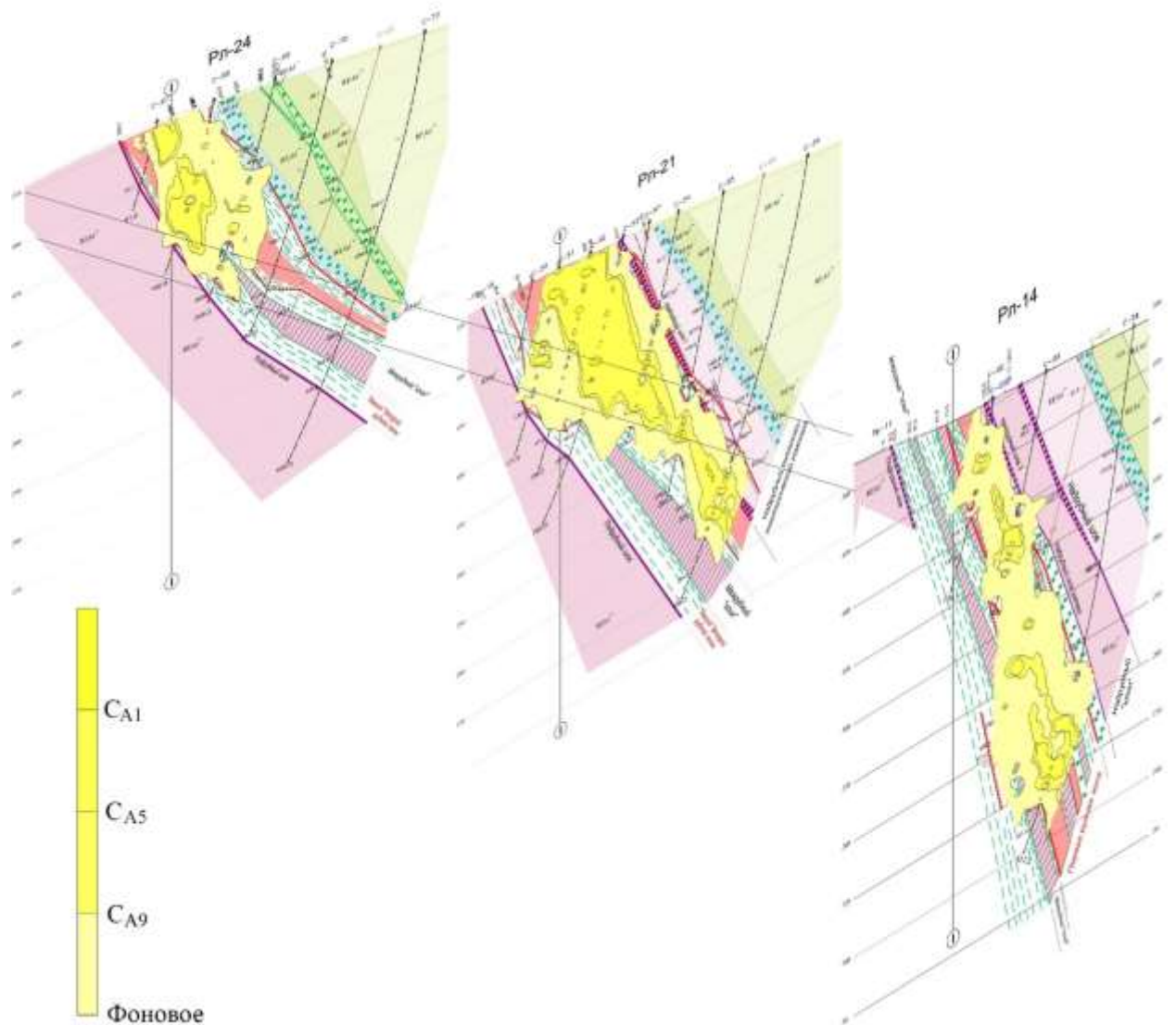


Рисунок 4.14 - Геохимические разрезы по разведочным линиям 14, 21, 24 для золота

Аномалии золота на всех разведочных линиях имеют удлиненную неправильную форму, они приурочены к рудному телу и апофизам, в меньшей степени встречаются во вмещающих породах, как в лежащем, так и в висячем боках. Наиболее высокие концентрации золота характерны для верхней и центральной части рудного тела РЛ 21. Анализируя три разреза, можно сказать, что центры тяжести ореолов золота смещаются с верхних горизонтов северо-западной части рудного тела к нижним юго-восточной части, что говорит об увеличении золота с глубиной.

As

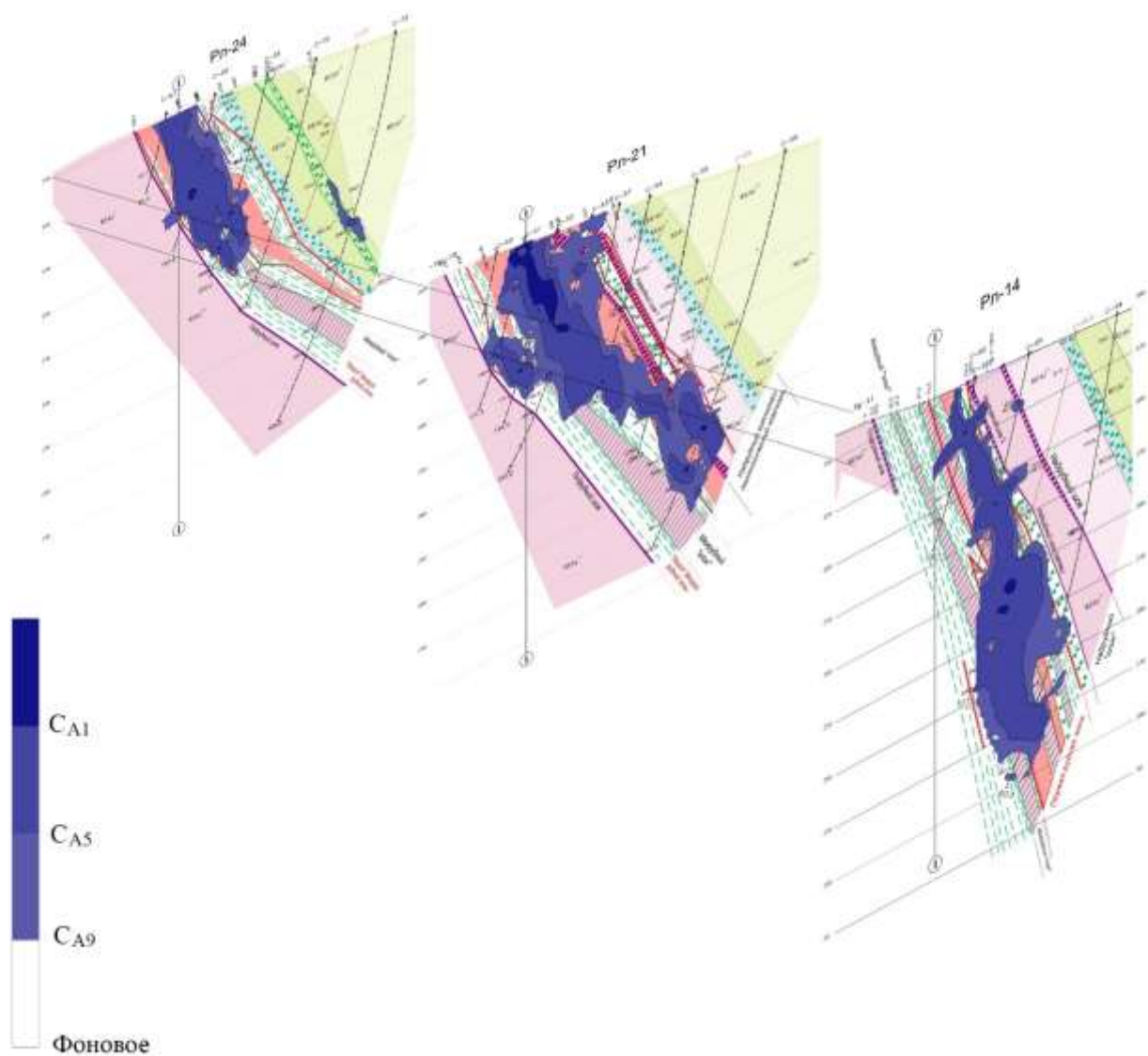


Рисунок 4.15 - Геохимические разрезы по разведочным линиям 14, 21, 24 для мышьяка

Мышьяк на всем протяжении рудного тела образует выдержанные по мощности и простиранию аномалии, большая их часть приурочена к рудному телу, а также к вмещающим породам висячего и лежащего боков. Наблюдается пространственная связь между аномалиями золота и мышьяка. В случае с распределением концентраций мышьяка прослеживается та же зависимость, что и у золота, центры тяжести ореолов мышьяка смещаются с верхних горизонтов к нижним.

Ag

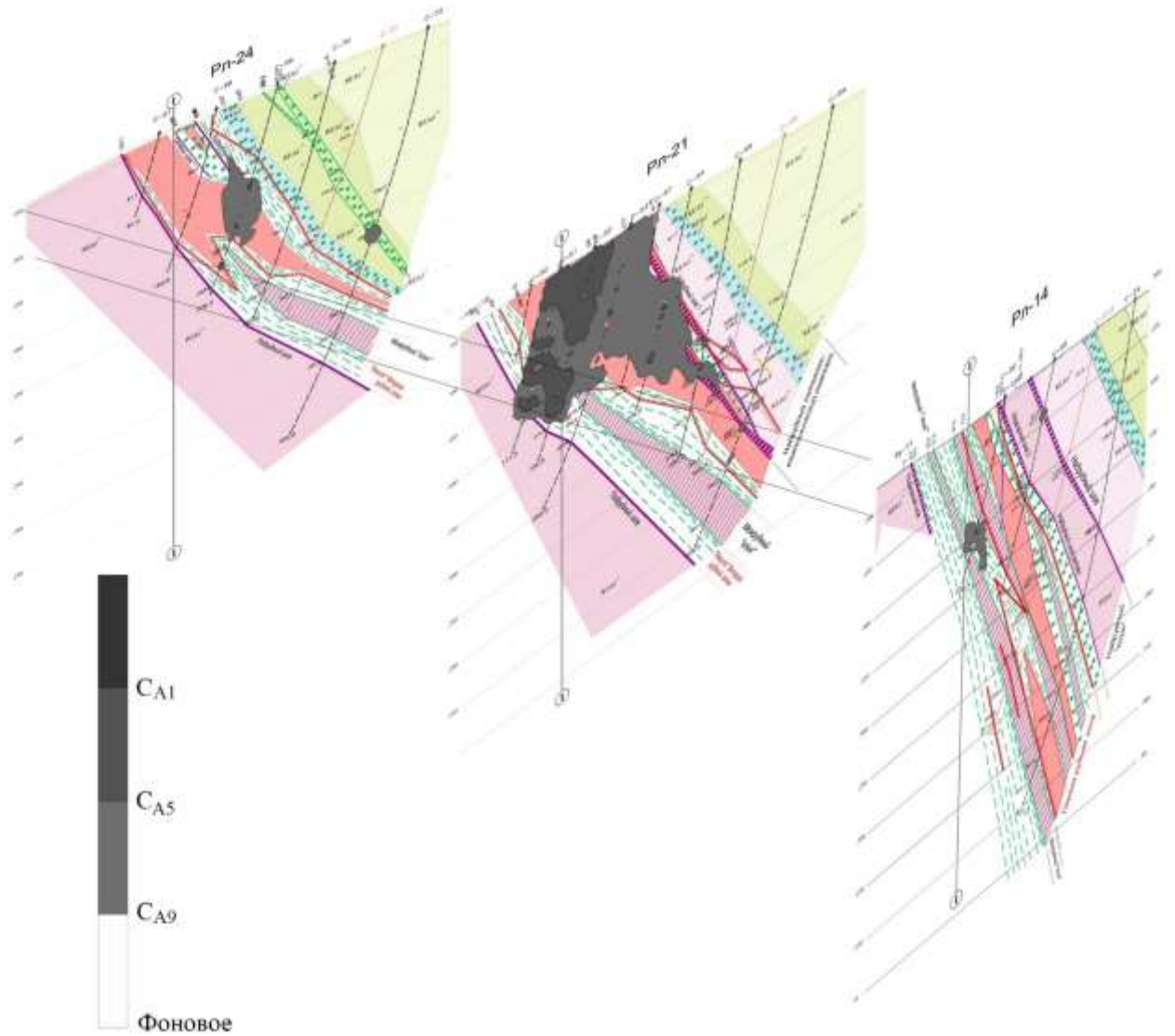


Рисунок 4.16 - Геохимические разрезы по разведочным линиям 14, 21, 24 для серебра

Ореолы серебра более контрастно проявлены на 21 разведочной линии, сосредоточенные в верхней части разреза, на РЛ 14 и 24 серебро имеет более низкие содержания и малые мощности ореолов. Ореолы серебра приурочены к рудному телу и апофизам.

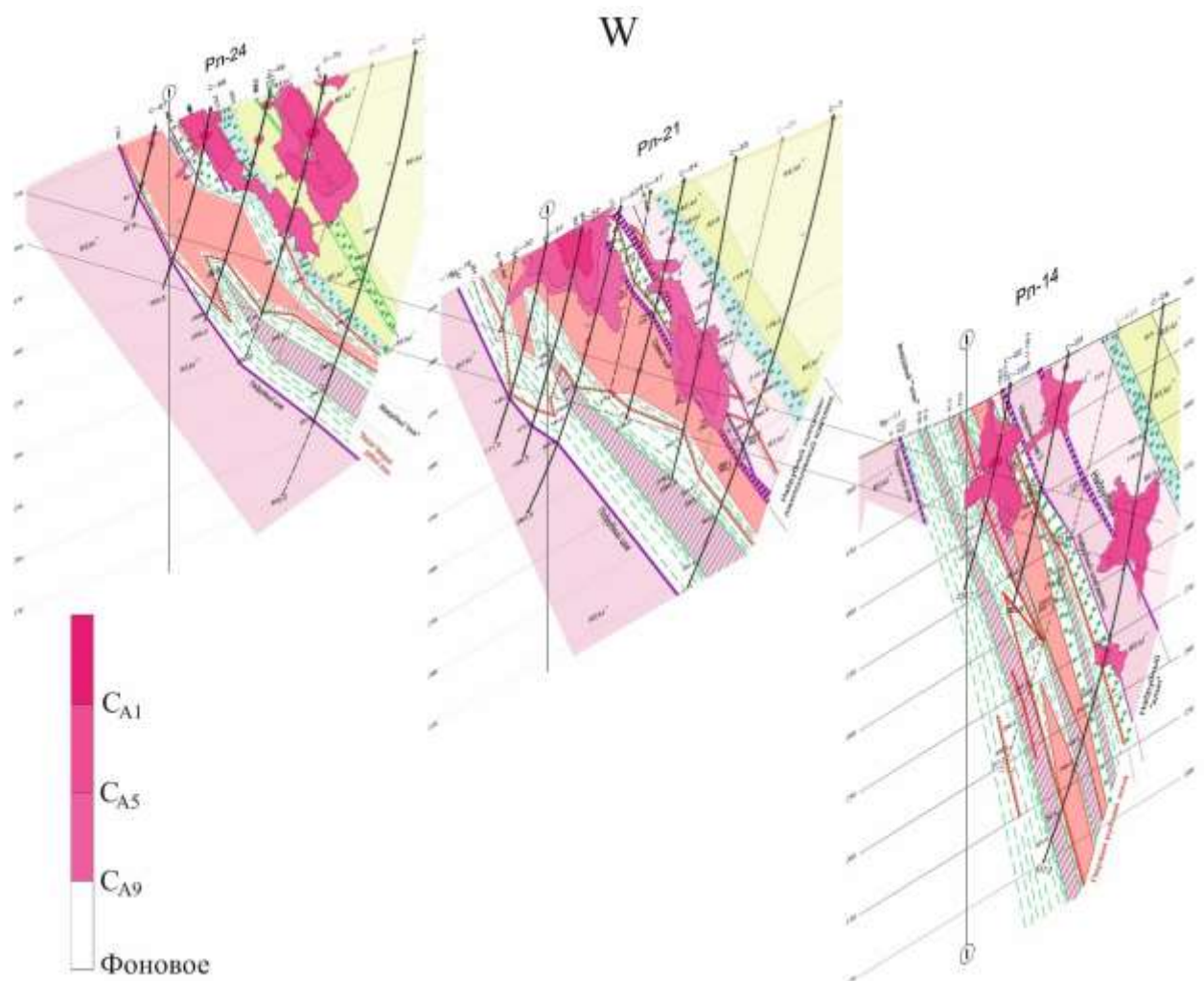


Рисунок 4.17 - Геохимические разрезы по разведочным линиям 14, 21, 24 для вольфрама

Вольфрам образует ореолы как в рудах и апофизах, так и во вмещающих породах всякого бока. В пределах РЛ 24 ореолы в основном распространены за пределами рудного тела в метаалевролитах, углистых метаалевролитах и кварцитовидных двуслюдяных сланцах, на РЛ 14 и 21 они тяготеют к гранатовым, ставролитовым и двуслюдяным сланцам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения дипломной работы была изучена геология района и месторождения, а также исследована геохимическая характеристика пород и руд на примере разведочных линий 14, 18, 21, 24.

При изучении шлифов были подробно изучены вмещающие породы месторождения (двуслюдяные кварцитовидные кристаллические сланцы, ставролитовые пятнистые сланцы, кварцитосланцы), их минеральный состав и текстурно-структурные особенности. Также были рассмотрены главные рудные минералы (золото, пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит) в аншлифах.

Основной целью работы было изучение геохимических характеристик пород и руд месторождения Благодатное. На основе анализа коэффициентов концентрации выявлена геохимическая специализация пород и руд северной части месторождения. Руды по отношению к породам минерализованной зоны обогащены Au, As, Ag и W.

Типоморфный комплекс элементов рудного тела № 1 представлен Au, Ag, As, W, а также элементами-спутниками, которые концентрируются в сульфидах руд - Pb, Cu, Zn, Co.

Выявлена сильная корреляционная связь с марганцем и барием, средняя – с медью и вольфрамом, свинцом и цинком, слабая корреляционная связь золота с серебром, вольфрамом и мышьяком.

Составлены ряды вертикальной зональности для каждой разведочной линии. Для РЛ 24: Bi-Ba-(V, Ag)-Cu-Pb-(Be, Sn)-Nb-W-Cr-(B, Au)-Mn-Zn-As, РЛ 14: Bi-Ag-B-Nb-V-(Pb, As, Co)-Sn-(Zn, Cr)-Au-Ti-Mn-Ni-Ba-Cu-Be-Mo-W, РЛ 18: (Mn, Zn)-(Cr, Ti)-Ba-Be-(Mo, Cu, V)-Ni-(B, Sn)-(Pb, W)-Nb-Bi-(As, Co)-Ag-Au, РЛ 21: Bi-Be-Cu-Ni-Co-Mo-Pb-(Zn, Nb)-Ba-Cr-Ti-(Ag, Au)-V-B-Sn-(As, W)-Mn.

Аномалии золота и мышьяка пространственно связаны между собой, они концентрируются в пределах рудного тела. Ореолы серебра приурочены к рудному телу и апофизам. Выявлена взаимосвязь распространения ореолов свинца и цинка, которые в большей степени концентрируются в центральной части рудного тела. Аномалии меди и вольфрама пространственно тяготеют друг к другу и сосредоточены во вмещающих породах.

Построенные разрезы по трем разведочным линиям указывают на увеличение золота по падению. Перспективы золотоносности глубоких горизонтов увеличиваются с юго-востока на северо-запад.

В результате исследования латеральной зональности был составлен общий ряд зонального отложения (с юго-востока на северо-запад): Zn-Pb-Cu-As-W-Au-Ag. Выявлено 12 монотонно меняющихся с глубиной показателя: монотонно убывают Pb/Ag, Zn/Cr, Zn/Au, Sn/Ag, W/Ag, возрастают Au/Co, Au/Ni, Au/Ti, Au/Mo, Au/Be, Au/Bi, Au/As.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилов, В.Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / В.Г. Ворошилов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 104 с.
2. Глинянчук, В.А. Геологический отчет по месторождению «Благодатное» / В.В. Журавлёв, С.С. Ильин, Д.Е. Малофеев, Е.В. Пинкевич, М.Г. Пустозеров, К.В. Удин, 2008 – 205 с.
3. Журавлев В.В. Геологический план поверхности Благодатного месторождения до начала эксплуатации. Масштаб 1:5 000, 2019.
4. Матвеев, А.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А.А. Матвеев, А.П. Соловов. – М.: КДУ, 2011. – 564 с.: табл., ил.
5. Полева, Т.В. Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже / Т.В. Полева, А.М. Сазонов. М.: Издательский дом «Экономическая газета», 2012 - 290 с.
6. Сазонов, А.М. Геолого-петрографическая характеристика и вещественный состав руд рудопроявления Благодатное (Отчет о научно-исследовательской работе по договору № ГГМ-022-01) / А.М. Сазонов, С.И. Леонтьев, Е.А. Звягина и др. Красноярск, 2003.
7. Соловов, А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985, 294 с. ил.
8. Соловов, А.П. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых: учебное пособие / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В. А.-М. Бугров.: Недра, 1990 – 335 с.
9. Стороженко, А.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Енисейская. Лист Р-46- XXXIII (Тея) / А. А. Стороженко, Н. Ф. Васильев, А. В. Пиманов и др.

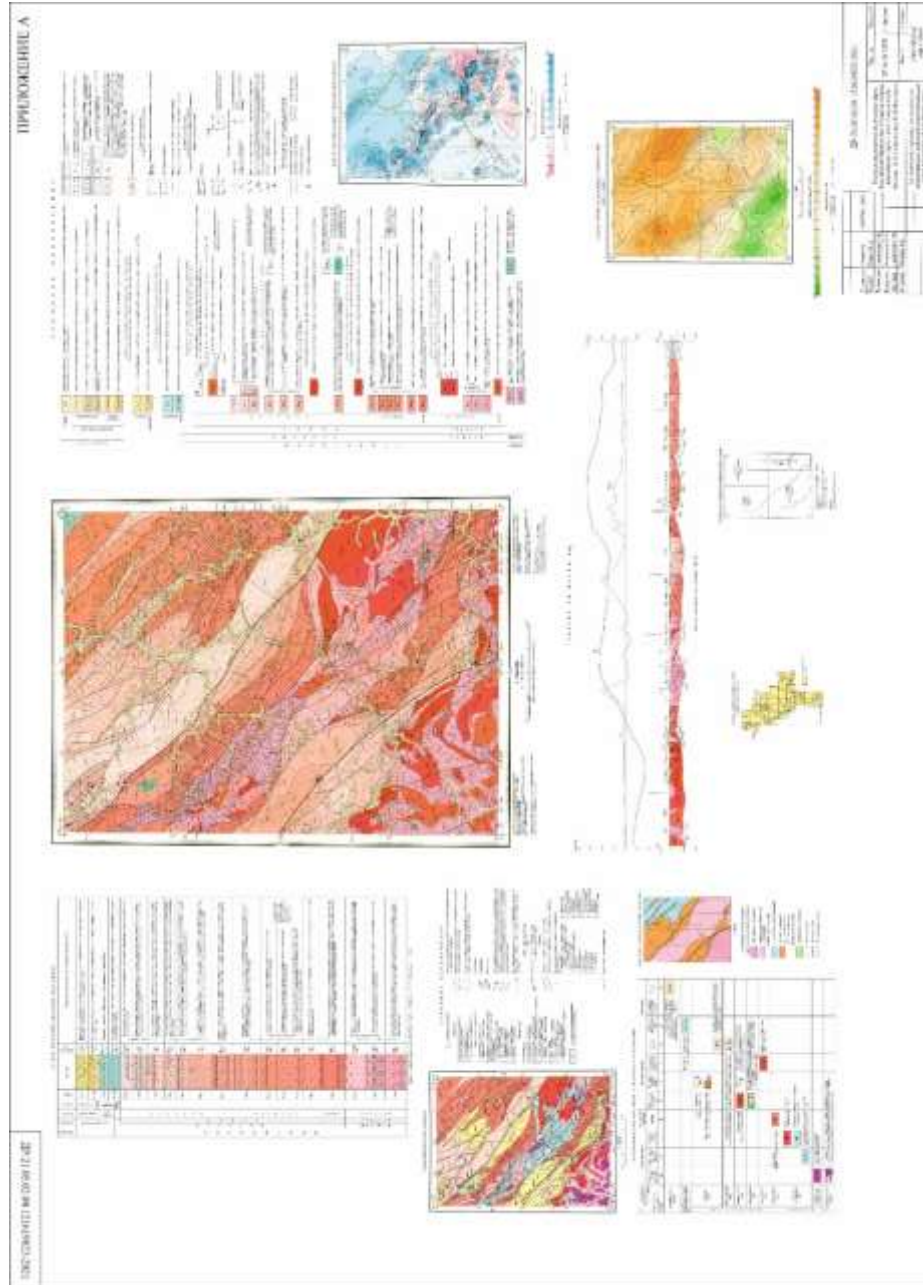
Объяснительная записка. – М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018 - 164 с.

10. Стороженко, А.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Енисейская. Лист Р-46- XXXIII (Тея) / А. А. Стороженко, Н. Ф. Васильев, А. В. Пиманов и др. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2008.

11. Стороженко, А.А. Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения листа Р-46-XXXIII. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Енисейская. Лист Р-46- XXXIII (Тея) / А. А. Стороженко, Н. Ф. Васильев, А. В. Пиманов и др. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2008.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

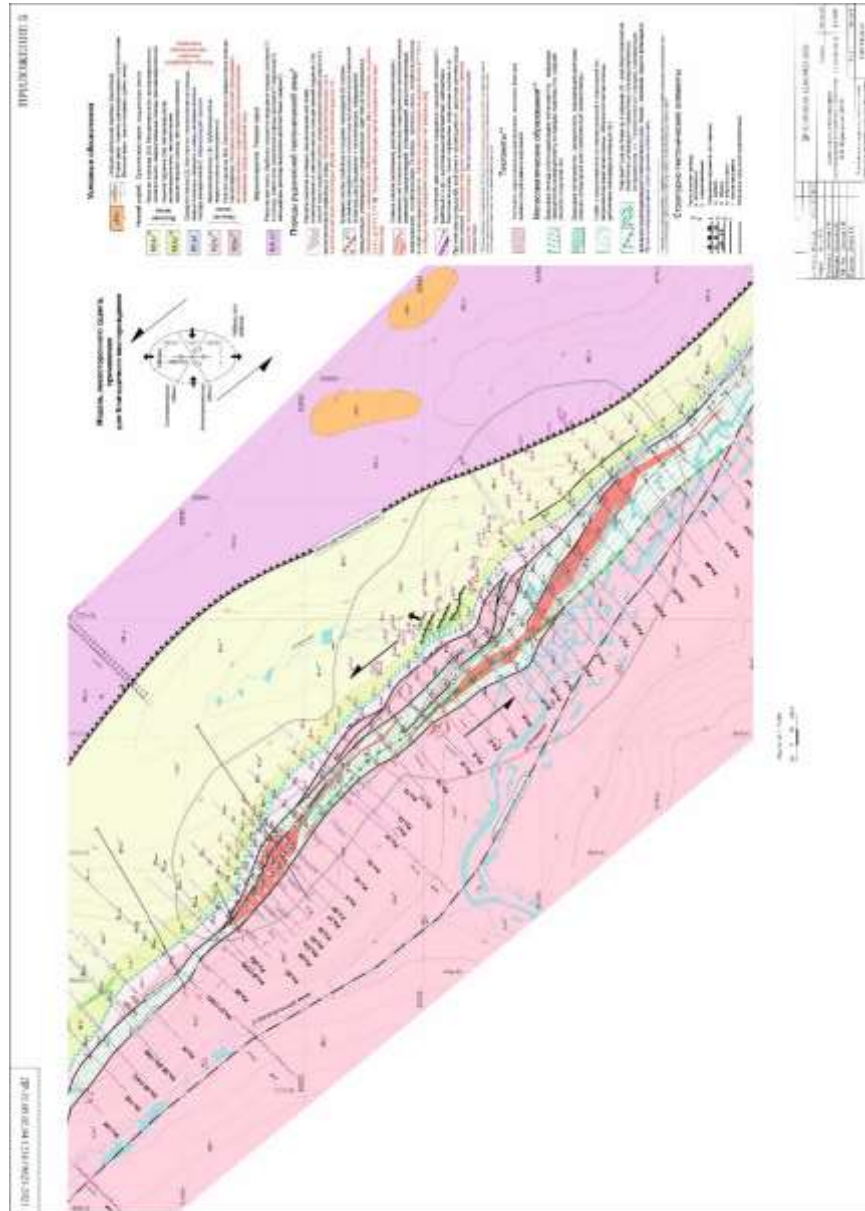
Государственная геологическая карта Российской Федерации. Енисейская серия. Лист Р-46-XXXIII. Масштаб 1:200 000



ДР-21.05.02.04 121619823-2021			
Должность	Фамилия	Подпись	Дата
Разраб.	Папст К.А.	<i>[Signature]</i>	11.06
Руководит.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	19.06
Консулт.	Перфилова О.Ю.	<i>[Signature]</i>	19.06
Зав. каф.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	21.06
Н. вшитр.	Полева Т.В.	<i>[Signature]</i>	19.06
Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Енисейская серия. Лист Р-46-XXXIII. Авторы: А.А.Стороженко, Н.Ф.Васильев.			
		Группа	Масштаб
		ТТ 16-05 МГП	1:200 000
		Лист 1	Листов 6
Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения шихота Благодатное (Енисейский край)			
СФУ ИГДГП каф. ГМП			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

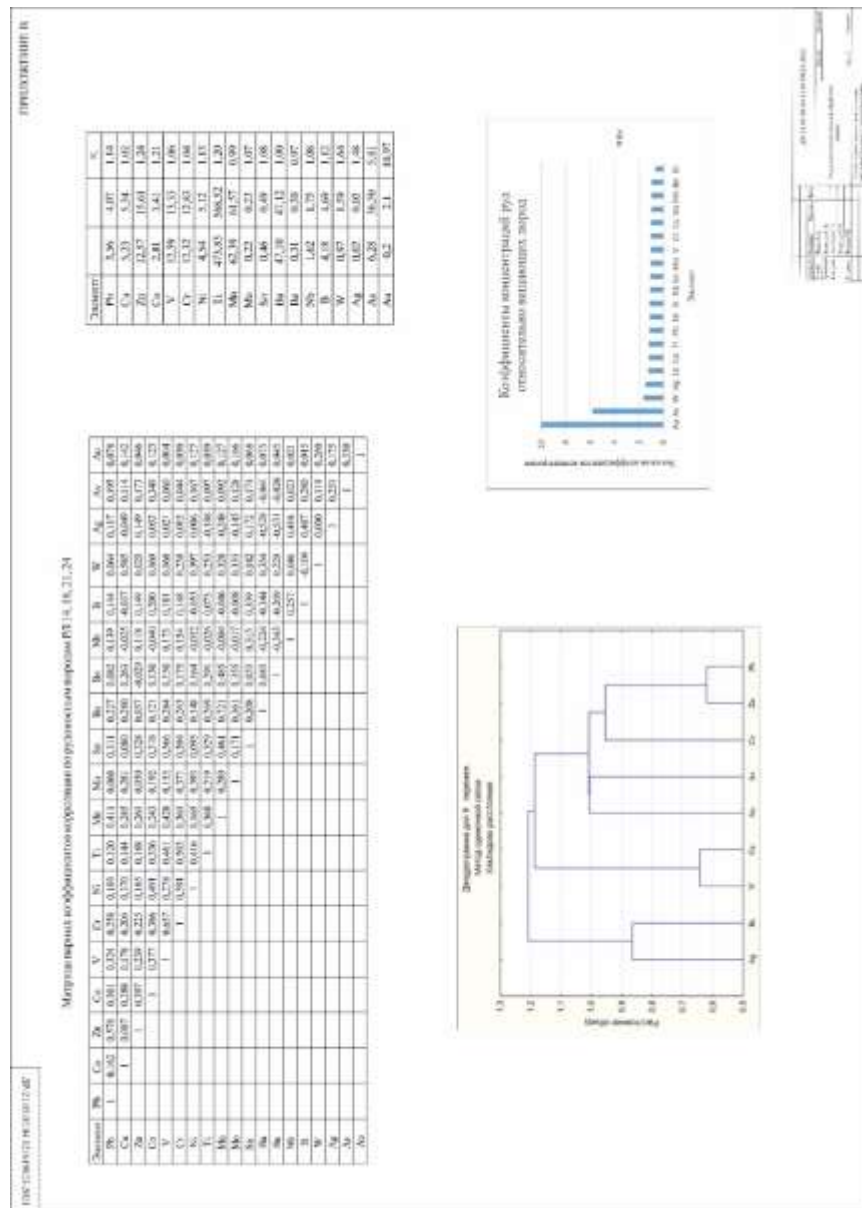
Геолого-литологическая карта месторождения Благодатное, масштаб 1:5000



				ДР-21.05.02.04 121619823-2021		
Должность	Фамилия	Подпись	Дата	Геолого-литологическая карта месторождения Благодатное. Составлена В.В. Журавлевым (2019)	Группа	Масштаб
Разраб.	Павст К.А.	<i>[Signature]</i>	11.06		ГТ 16-05 МПГ	1:5 000
Руководит	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	18.06			
Консулт.	Перфильев О.Ю.	<i>[Signature]</i>	10.06		Лист 2	Листов 4
Заф. каф.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	25.06			
Н. контр.	Полева Т.В.	<i>[Signature]</i>	19.06			
				Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский край)	СФУ ИГДТИГ каф. ГМиП	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

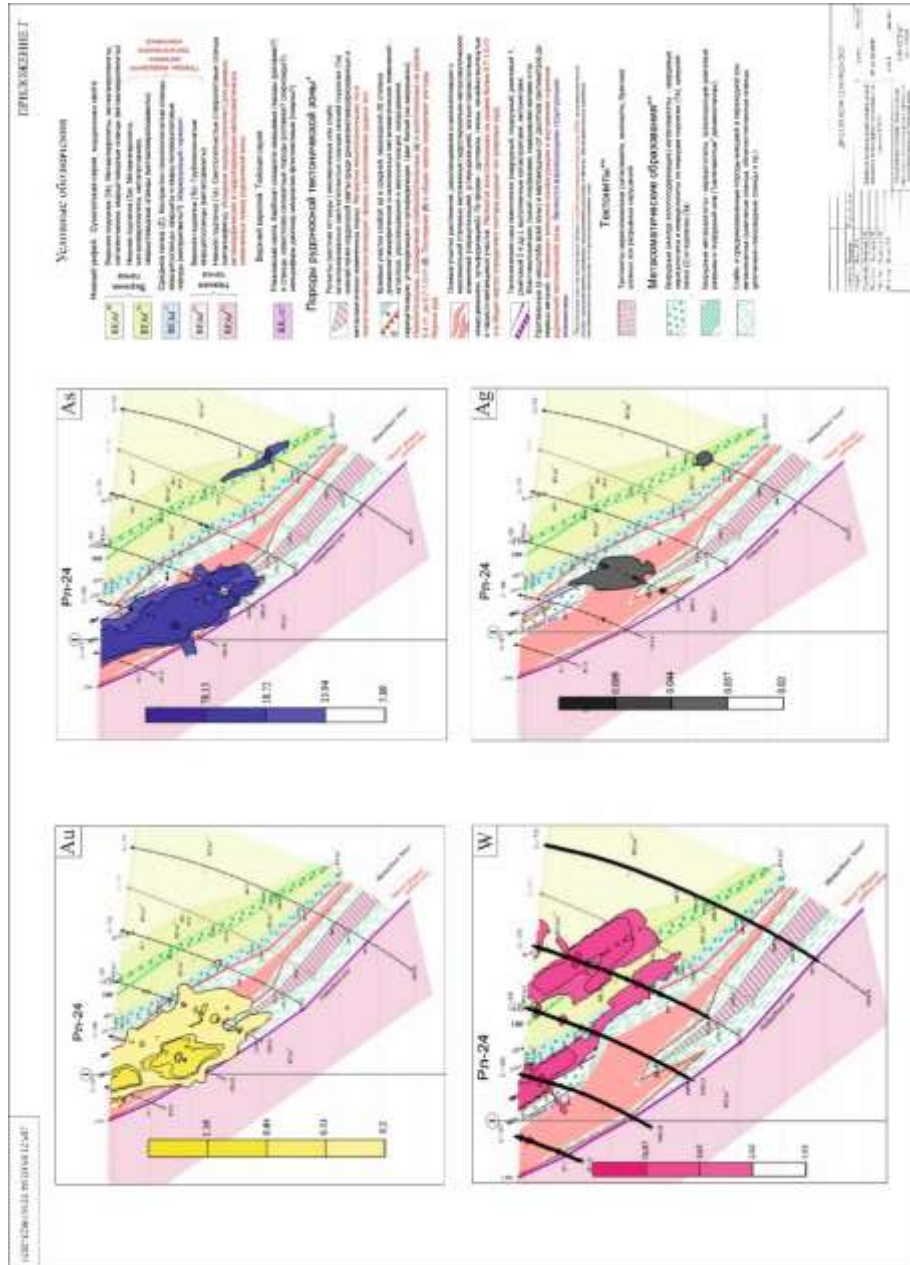
Результаты статистической обработки данных



ДР-21.05.02.04 121619823-2021			
Должность	Фамилия	Подпись	Дата
Разраб.	Павет К.А.	<i>К.А. Павет</i>	11.06
Руководит.	Леонтьев С.И.	<i>С.И. Леонтьев</i>	12.06
Консулт.	Леонтьев С.И.	<i>С.И. Леонтьев</i>	12.06
Зав. каф.	Леонтьев С.И.	<i>С.И. Леонтьев</i>	15.06
Н. контр.	Полета Т.В.	<i>Т.В. Полета</i>	19.06
Результаты статистической обработки данных		Группа	Масштаб
Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Блгогодное (Енисейский край)		ГГ 16-05 МГП	
		Лист 3	Листов 6
		СФУ ИГДГиГ каф. ГМП	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

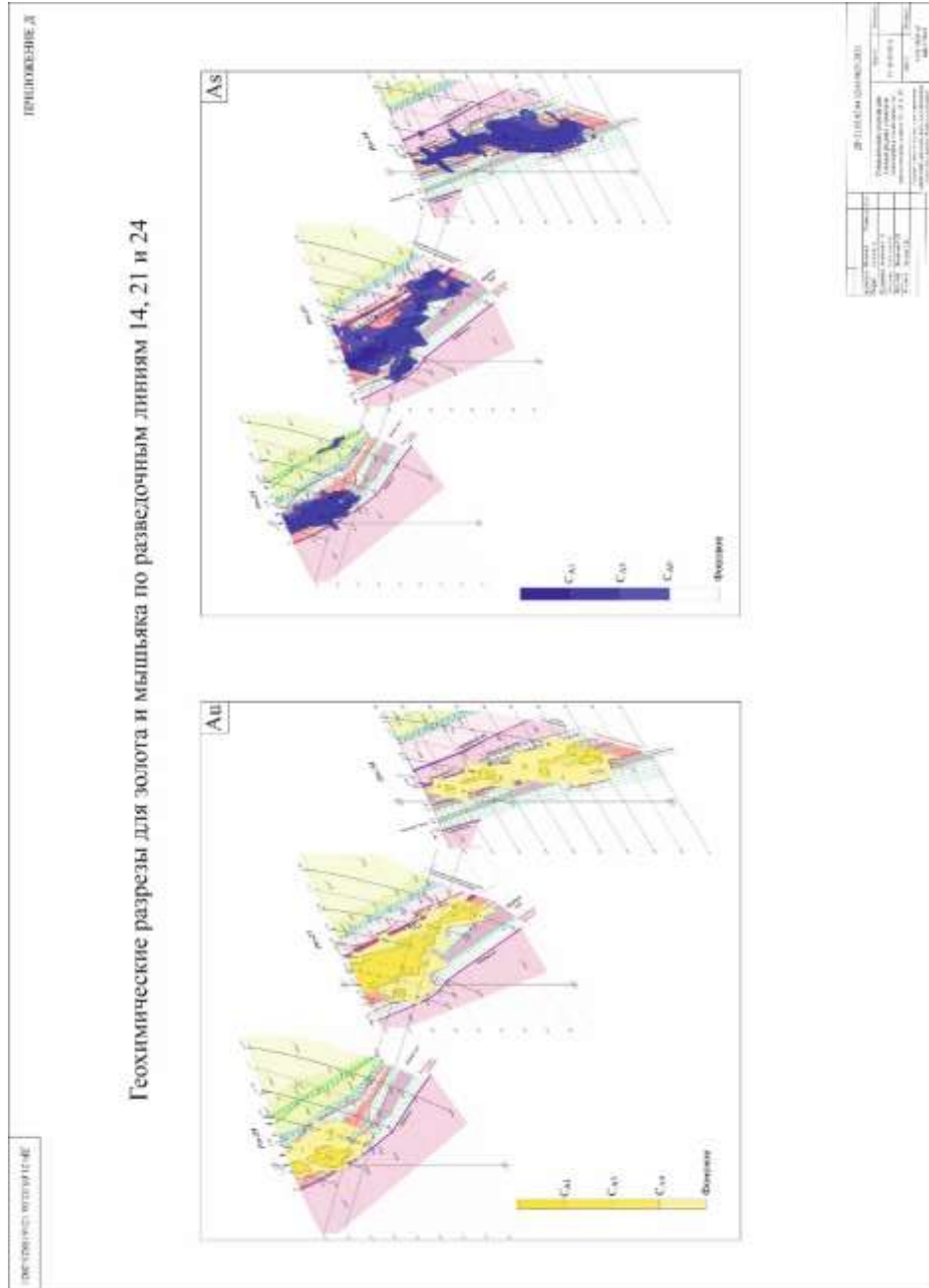
Характер распределения концентраций элементов типоморфного комплекса на примере РЛ-24



Должность	Фамилия	Подпись	Дата	ДР-21.05.02.04 121619823-2021		
Разработчик	Пинск К.А.	<i>[Signature]</i>	11.06	Характер распределения концентраций элементов типоморфного комплекса на примере РЛ-24	Група	Масштаб
Руководитель	Леонтьев С.Н.	<i>[Signature]</i>	18.06		ГТ 16-05 МГП	
Консультант	Леонтьев С.Н.	<i>[Signature]</i>	18.06			
Зав. кафедрой	Леонтьев С.Н.	<i>[Signature]</i>	18.06		Лист 4	Листов 6
Н. контр.	Полява Т.В.	<i>[Signature]</i>	19.06		СФУ ИГДГПГ каф. ГМП	
				Геологическое строение, геосинтетическая характеристика пород и руд месторождения золота Каландино (Енисейский край)		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

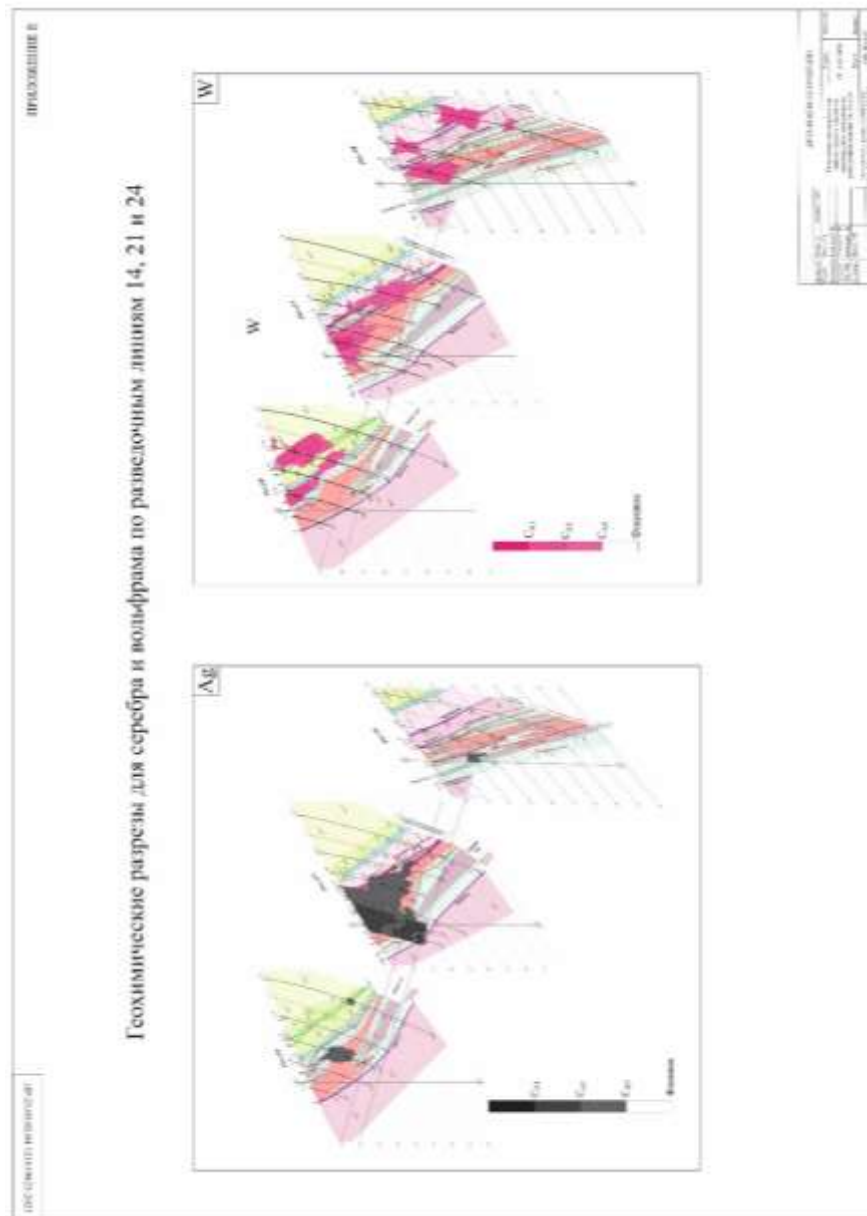
Геохимические разрезы для главных рудных элементов типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24



ДР-21.05.02.04 121619823-2021			
Должность	Фамилия	Подпись	Дата
Разраб.	Павст К.А.	<i>[Signature]</i>	11.06
Руководит.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	18.06
Консульт.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	19.06
Зав. каф.	Леонтьев С.И.	<i>[Signature]</i>	25.06
Н. кинтр.	Полева Т.В.	<i>[Signature]</i>	19.06
Геохимические разрезы для главных рудных элементов типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24			
		Група	Масштаб
		ГГ 16-05 МПГ	
		Лист 5	Листов 6
Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благославное (Енисейский край)			
		СФУ ИГД и Г каф. ГМиП	

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Геохимические разрезы для главных рудных элементов типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24




ДР-21.05.02.04 121619823-2021			
Должность	Фамилия	Подпись	Дата
Разраб.	Панст Е.А.	<i>[Signature]</i>	11.06.2021
Руководит.	Левченко С.И.	<i>[Signature]</i>	11.06.2021
Консулт.	Левченко С.И.	<i>[Signature]</i>	11.06.2021
Зед. каф.	Левченко С.И.	<i>[Signature]</i>	11.06.2021
Н. контр.	Палева Т.В.	<i>[Signature]</i>	11.06.2021
Геохимические разрезы для главных рудных элементов типоморфного комплекса по разведочным линиям 14, 21 и 24			
Группа		Масштаб	
ГТ 16-05 МГП		Лист 6	
Лист 6		Листов 6	
Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Благовещенский край)			
СФУ ИГД и ГИ каф. ГММП			

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий
институт
Геологии, минералогии и петрографии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 С.И. Леонтьев
подпись инициалы, фамилия
« дс » 06 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02 «Прикладная геология»
код и наименование специальности

21.05.02.04 «Прикладная геохимия, минералогия, петрология»
код и наименование специализации

Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд
месторождения золота Благодатное (Енисейский край)
(тема)

Руководитель  18.06.21 профессор, доцент, к.г.-м.н
подпись, дата должность, ученая степень

С.И. Леонтьев
инициалы, фамилия

Выпускник  11.06.21
подпись, дата

К.А. Папет
инициалы, фамилия

Рецензент 23.06.21
подпись, дата

О.Т. Русак
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа ДП по теме: «Геологическое строение, геохимическая характеристика пород и руд месторождения золота Благодатное (Енисейский край)».

Консультанты по разделам:

Геологическая часть Беркут 10.06.21 доцент, к.г.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

О.Ю. Перфилова
инициалы, фамилия

Петрография Сазонов 10.06.21 профессор, д.г.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

А.М. Сазонов
инициалы, фамилия

Специальная часть Леонтьев 10.06.21 профессор, доцент, к.г.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

С.И. Леонтьев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер Полева 19.06.21 доцент, к.г.-м.н.
подпись, дата должность, ученая степень

Г.В. Полева
инициалы, фамилия