

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

**ЧУМАКОВ Александр Васильевич**

**Выпускная квалификационная работа**

**Минералого-геохимические особенности руд и технологических продуктов обогащения  
золоторудного месторождения**

Уровень образования: *магистратура*

Направление *05.04.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *ВМ.5515. «Геология»*

Заведующая кафедрой:  
доктор геол.-мин. наук  
профессор Чарыкова М.В.

Научный руководитель:  
доктор геол.-мин. наук  
профессор Панова Е.Г.

Санкт-Петербург

2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	5
1.1. Материал для исследования.....	5
1.2. Методы исследования .....	7
2. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА .....	15
2.1. Географо-экономический очерк.....	15
2.2. Стратиграфия.....	16
2.3. Магматические образования .....	24
2.4. Тектоника.....	26
2.5. Полезные ископаемые .....	30
3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ .....	34
3.1 Первичная сульфидная руда .....	34
3.2. Окисленная руда .....	46
3.3. Хвосты флотационного обогащения.....	49
4. ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ.....	55
4.1 Геохимические особенности руд .....	55
4.2 Химические особенности технологических продуктов обогащения .....	63
5. ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В РУДАХ .....	65
5.1. Золото в первичной сульфидной руде .....	65
5.2. Золото в окисленной руде .....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

## ВВЕДЕНИЕ

Золото относится к стратегическим полезным ископаемым, добыча которых необходима для пополнения запасов.

В настоящее время Российская Федерация обладает обширной минерально-сырьевой базой (МСБ) золота. Для дальнейшего развития горнодобывающей отрасли необходимо постоянно пополнять МСБ золота, а также рассматривать различные более мелкие комплексные золотосодержащие объекты, а также нетрадиционные источники золота. Оптимальная технология производства, при которой извлечение полезного компонента будет осуществляться с минимальными потерями, так как реализация имеющихся прогнозных ресурсов сможет обеспечить прирост промышленных запасов в объеме не более 2.5–2.9 тыс. т, что позволит продлить работу золотодобывающей промышленности страны при уровне добычи 2017 г. всего на 7–9 лет (Госдоклад, 2019).

Ряд регионов Российской Федерации имеют неопределенные с необходимой детальностью объекты, одним из которых являются скарновые месторождения на Алтае, в которых содержания золота может достигать 5-10 г/т (Вахрушев, 1972; Демидов и др, 2008ф; Гусев, 2013; Логвиненко, Тимкин, 2014).

На территории Горного Алтая встречаются разнообразные скарновые месторождения и проявления, содержащие в тех или иных количествах золото. К таким объектам относятся золото-медно-скарновые месторождения (Синюхинское, Мурзинское и др.), на медно-скарновом Мурзинском месторождении среднее содержание золота достигает 5 г/т (Гусев, 2014). Железо-скарновые объекты (Майское, Лебедское и др), содержания золота в которых колеблются от 0.8 до 106.6 г/т, в среднем 3.7 г/т (Демидов и др., 2008ф; Дубский и др., 2012ф).

*Цель исследования:* выявление минералого-геохимических особенностей руд с целью подбора эффективной технологии извлечения золота.

*Задачи исследования:*

1. Характеристика минералогических особенностей руд и технологических продуктов;
2. Определение их химического состава;
3. Выявление форм нахождения золота;
4. Предложение схем обогащения разных типов золотосодержащих руд.

Материал для исследования был получен в рамках выполнения хозяйственных работ по изучению вещественного состава руд Каштауской рудоносной площади.

Для решения поставленных задач использованы следующие методы:

1. Макроскопическое описание и фотодокументация пород и руд;
2. Петрографический анализ;
3. Пробоподготовка с использованием современных методов (ЭИД, гидросепарация);

4. Рентгенофазовый анализ;
5. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой;
6. Сканирующая электронная микроскопия и микрозондовый анализ;
7. Статистическая обработка результатов исследований.

**Апробация работы.** Основные результаты обсуждались и докладывались на Десятой Российской молодежной научно-практической школе «Новое в познании процессов рудообразования», г. Москва, 2021; на Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», г. Москва, 2021-2022; XXV Международном симпозиуме имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» в г. Томск, 2022;

**Благодарности.**

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору Пановой Е.Г за помощь, консультации и поддержку на всех этапах написания выпускной квалификационной работы магистра.

Автор искренне благодарен Аликину О.В. за помощь в постановке лабораторных исследований и проведении пробоподготовки, а также главному обогатителю ООО «Березовский рудник» Пастухову Д.М. за проведение технологических испытаний по обогащению руд.

Особую благодарность автор выражает сотрудникам Пермского государственного университета (ПГНИУ) д.г.-м.н Осовецкому Б.М., к.г.-м.н. Казымову К.П., ст. преп. Пузику А.Ю. и ст. преп. Томилиной Е.М. за неоценимую помощь в проведении аналитических исследований, подготовке и обсуждении настоящей работы.

# 1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Материал для исследования

ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция» предоставлены для определения вещественного состава две большеобъемные композитные технологические пробы (табл. 1) исходных первичных сульфидных и окисленных руд Каштауской рудоносной площади.

Материал окисленных руд представлен рассыпчатым и в различной степени агломерированным материалом, а первичных – цельными образцами или половинками (дубликатами) кернов разведочного бурения, а также их обломками. Из исходных проб квартованием методом усеченного конуса отобраны представительные навески для проведения параллельных минералого-геохимических исследований и технологических испытаний по обогащению. С учётом минерального состава и структурно-текстурных особенностей, материал первичных сульфидных руд (проба №1) измельчался методом электроимпульсной дезинтеграции на установке EPD Spark-2 с целью бережного раскрытия минералов благородных металлов и минимизации переизмельчения.

Таблица 1

Реестр исходных проб, направленных для проведения исследования

Номер пробы	Тип пробы	Масса, кг
1	Первичная сульфидная руда	~450
2	Окисленная руда	~450

Полученные пробы руды подвергались подготовке к исследованиям в соответствии со схемой разделки представленной на рис. 1.

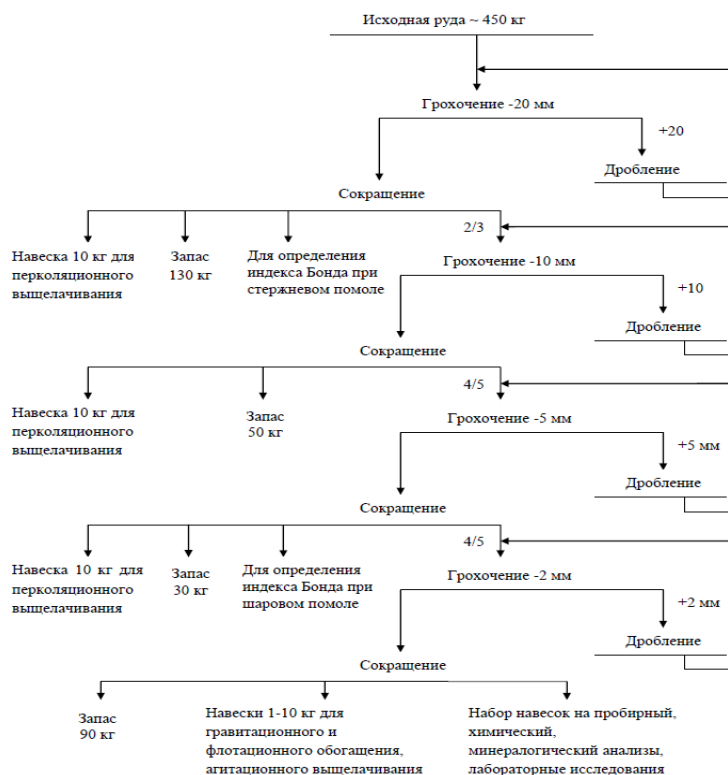


Рис. 1. Подготовка пробы руды к исследованиям

Для выявления минералого-геохимических особенностей руд и технологических продуктов обогащения нами отобраны аналитические навески исходных руд и тех. продуктов, а именно хвостов флотационного обогащения (табл. 2). Хвосты флотационного обогащения получены после следующей технологической разделки (рис. 2).

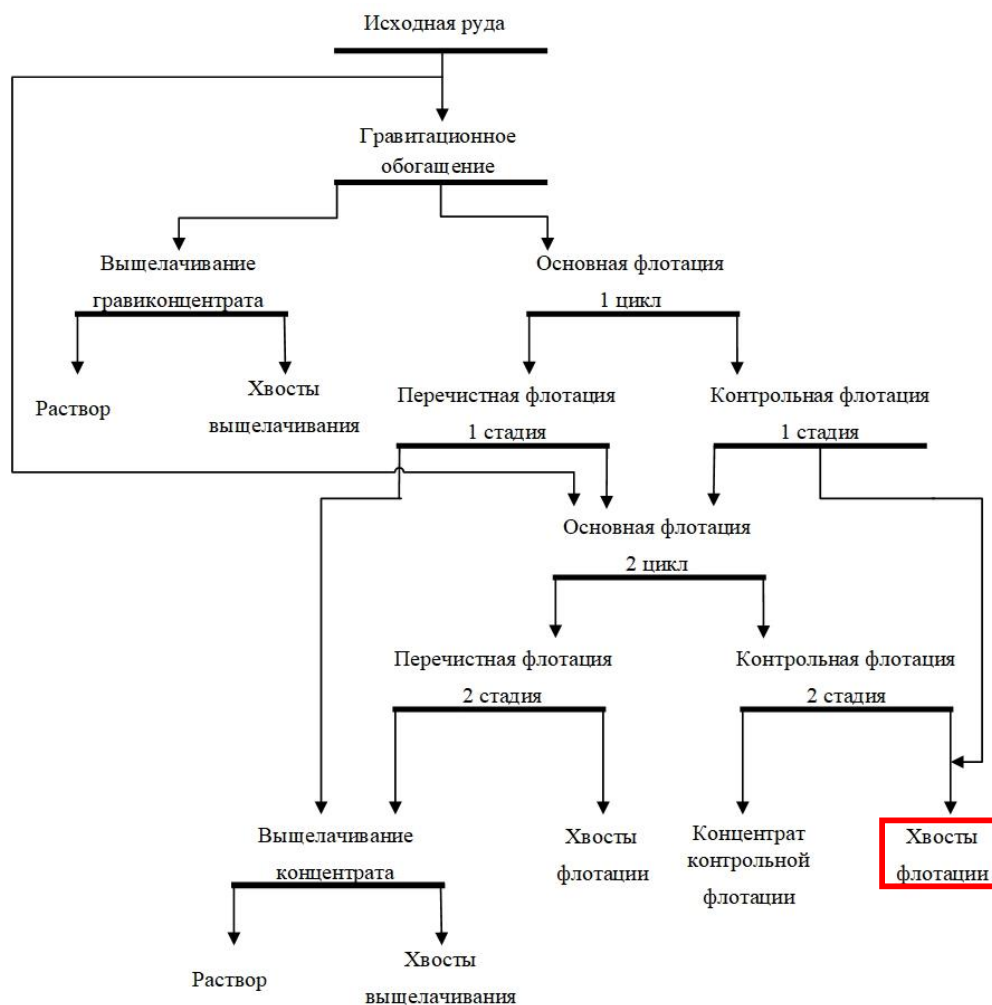


Рис. 2. Сокращенная схема переработки проб хвостов гравитационного обогащения с целью наработки концентратов для гидрометаллургических исследований. Красным обозначены исследуемые тех. продукты

Проверена возможность флотационного обогащения хвостов гравитации. Использовались две пробы хвостов гравитационного обогащения различной крупности -0,4 мм и -0,1 мм. Флотационное обогащение проводилось на лабораторной флотомашине объемом 1 л (рис. 3) с использованием следующих реагентов:

- бугиловый ксантогенат – 200 г/т;
- аэрофлот 1517 – 50 г/т;
- вспениватель (сосновое масло) – 40 г/т.

После проведения флотационного обогащения, полученные продукты были обезвожены и высушены, и переданы на анализ.



Рис. 3. Лабораторная флотомашинa ФЛ-237

Таблица 2

Реестр навесок золотосодержащих окисленных и первичных руд, отобранных для изучения вещественного состава

Номер пробы	Тип пробы	Масса, кг
1	Первичная сульфидная руда	17.33
2	Окисленная руда	14.55
3	Хвосты флотации первичной руды	0.5
4	Хвосты флотации окисленной руды	0.5

Перечисленные пробы исходных руд и технологических продуктов обогащения детально исследованы современными методами исследования для уточнения химического состава, содержания благородных металлов и подбора оптимальной технологии извлечения «полезных» компонентов.

## 1.2. Методы исследования

Для обработки проб использовался широкий спектр современных методов изучения. В нашем исследовании применены следующие методы:

- фотодокументация подготовленных образцов,
- петрографические исследования шлифов,
- пробоподготовка с использованием современных методов (электроимпульсная дезинтеграция, гидросепарация),
- рентгенофазовый анализ,
- масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой,
- сканирующая электронная микроскопия и микроанализ,
- статистическая обработка результатов исследований.

*Фотодокументация* отобранных образцов выполнялась в лаборатории для всех проб. Сделаны фото керновых проб, продуктов электроимпульсной дезинтеграции (для пробы первичной сульфидной руды) и исходной окисленной руды (железистые охры). Для получения контрастного изображения деталей использована камера высоко разрешения Canon DS126371

и цифровая камера CNT\_Image 3. Цифровые изображения хвостов флотационного обогащения получены с использованием цифровой камеры CNT\_Image 3. Вместе с фотодокументацией проводилось макроскопическое описание образцов.

Основная цель *петрографических исследований шлифов* – изучение минерального состава горной породы, ее структурных и микротекстурных особенностей.

Исследования велись с использованием поляризационного микроскопа Leica DM4500P, который характеризуется широким диапазоном увеличений от 3- до 600-кратного. Для работы использовались специально изготовленные шлифы. Шлиф – тонкая пластинка породы или минерала, которая имеет толщину 0.03-0.02 мм, которую клеят на стекло. Стандартный шлиф имеет размер 2x4 см. Для прослеживания структурно-текстурных особенностей рудовмещающих горных пород изготовлены порядка 10 шлифов из контрастных образцов, которые выделены в ходе макроскопического описания. Исследования велись в параллельных и скрещенных николях, что позволило провести диагностику минералов по их оптическим свойствам. Поляризационный микроскоп имеет специальную цифровую камеру, которая позволила делать фотографии.

Минералого-петрографические исследования проводились с использованием традиционных методик (Кочурова, 1977; Трусова, 1982; Марин, 2015)

Для *исследования минераграфических особенностей руд* изготовлены аншлифы из наиболее контрастных рудных образцов. Аншлифы изготовлены из характерных минерализованных участков керновых проб, пришлифованы и отполированы для изучения в отраженном свете. Аншлифы исследовались на петрографическом микроскопе поляризационного микроскопа Leica DM4500P автором в Ресурсном центре микроскопии и микроанализа СПбГУ, г. Санкт-Петербург и на микроскопе Olympus BX51, камера Leica DC 300 (рис. 4), программный пакет Autorano Giga в Секторе Наноминералогии ПГНИУ, г. Пермь (аналитик Казымов К.П.)



Рис. 4. Поляризационный оптический микроскоп Olympus BX51 (Япония).



*Изучения микротекстур и микроструктур с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)* выполнено с использованием растрового электронного микроскопа, который предназначен для получения изображения поверхности объекта с высоким пространственным изображением, а также информации о составе, строении и некоторых других свойствах приповерхностных слоев. Метод основан на принципе взаимодействия с исследуемым объектом. Этот метод позволяет работать в диапазоне от 10 до 1000000, что в сотни раз превышает предел увеличения оптического микроскопа. Для зондирования поверхности используется сканирование пучком сфокусированного пучка электронов. Для формирования изображения используется детектирование различных сигналов, включая вторичные электроны, обратнорассеянные электроны, рентгеновское излучение и ток через образец. Основные области применения сканирующей электронной микроскопии – визуализация топографии поверхности (при регистрации вторичных электронов) и карты распределения элементов на поверхности (при регистрации обратнорассеянных электронов, вторичных электронов и рентгеновского излучения).

СЭМ-исследования и электронно-зондовый анализ выполнены автором в Ресурсном центре микроскопии и микроанализа СПбГУ на настольном растровом микроскопе-микроанализаторе ТМ 3000 (НИТАСНИ, Япония, 2010) (рис. 5), г. Санкт-Петербург, в лаборатории изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург (аналитик Антонов А.А.), Секторе Наноминералогии ПГНИУ, г. Пермь (аналитик Осовецкий Б.М.)



Рис. 5. Настольный растровый электронный микроскоп-микроанализатор ТМ 3000 (НИТАСНИ, Япония, 2010)

Из материала первичных сульфидных, окисленных руд и хвостов флотационного обогащения отобраны представительные навески для получения информационных HS-концентратов по универсальной технологии минералого-геохимических исследований (рис. 6) (Рудашевский и др., 2017; Рудашевский и др., 2018).

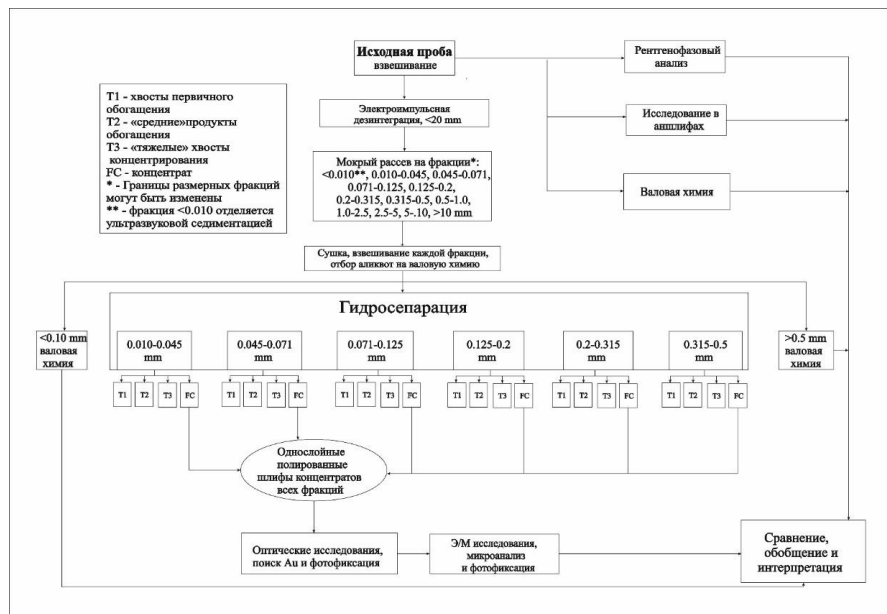


Рис. 6. Принципиальная схема исследования проб по универсальной технологии минералого-геохимических исследований

*Дезинтеграция проб* проводилась с использованием электроимпульсной дезинтеграции (ЭИД). ЭИД представляет собой технологию дробления материалов высоковольтными разрядами в воде (Юткин, 1986). Такая дезинтеграция обычно реализуется по границам фаз в минеральных агрегатах (Рудашевский и др., 1991) и обеспечивает минимальное переизмельчение исследуемого материала. Данный метод целесообразно использовать для наиболее богатых участков руд благородных металлов.

В ходе выполнения пробоподготовки (рис. 7) выбран оптимальных технологический режим электроимпульсной дезинтеграции руд и пород Каштауской площади частота разрядов (1 Гц) и количество разрядов (100).



Рис. 7. Выполнение ЭИД на установке EPD Spark-2

*Гранулометрический анализ* (фракционный анализ) на ситах использован для определения размера частиц. Материал проб промывался методом мокрого россева (рис. 8) с

постоянной подачей воды на сита классы крупности (мм): +10, -10+5, -5+2.5, -2.5+1.0, -1.0+0.5, -0.5+0.315, -0.315+0.2, -0.2+0.125, -0.125+0.071, -0.071+0.045, -0.045 (рис. 8). Из фракции <0.045 мм материала окисленных руд класс крупности <0.010 мм отделялся методом отмучивания, а для первичных руд с этой целью проводилась ультразвуковая седиментация.



Рис. 8. Процесс ручного мокрого отсева пробы окисленной руды

Для обогащения продуктов, содержащих, в первую очередь, минералы благородных металлов, а также отличающихся невысокими концентрациями полезного компонента, использованы новое устройство и технология для разделения по плотности твердых частиц измельченных минералов. Это гидравлический классификатор (гидросепаратор HS-11) и метод гидросепарации (HS-технология) – (Рудашевский и др., 2001; Rudashevsky et al., 2001; Рудашевский, Рудашевский, 2006; 2007).

*Метод гидросепарации* реализует разделение материалов с различной плотностью в пульсирующем водном потоке. Конкуренция масс частиц, захваченных восходящим слабым ламинарным потоком, приводит к осаждению тяжелых частиц на дне разделительной трубки и удалению легкой фракции. Классификация измельченного материала по размерам зерен – все зерна в пределах одной фракции имеют близкие размеры – обеспечивает при гидросепарации реальное разделение образца по плотности фаз, а не по весу частиц, как это имеет место практически во всех гравитационных приборах и технологиях (рис. 9).



Рис. 9. Фото процесса гидросепарации. Общий вид установки HS-11 (а) и процесс разделения материала (б).

Обогащение измельченных материалов методом гидросепарации позволяет получить «тяжелый» концентрат (HS-концентрат), обеспечивающий статистически представительную информацию о «тяжелых» минералах (Lastra et al., 2005) для всего объема образца в интервале крупности частиц от  $<10$  до 500 мкм. Последние представляют репрезентативные выборки зёрен рудных минералов в пределах узких классов крупности, из них изготовлены однослойные полированные шлифы горячим прессованием (рис. 10).



Рис. 10. Однослойные полированные шлифы различных продуктов HS по фракции  $-0.045+0.010$  мм

*Рентгенофазовый анализ* необходим для диагностики минерального состава исходных проб руды и технологических продуктов обогащения. Для проведения РФА готовились ориентированные препараты проб исходных руд и тех. продуктов обогащения. Пробы истирались в агатовой ступке в пыль. Съёмка препаратов велась в диапазоне углов  $2\theta$  от 5 до  $90^\circ$ . на рентгеновском дифрактометре D2 PHASER ( $\text{CuK}\alpha$ ) (рис. 11). Обработка полученных спектров производилась с помощью ПО в диапазоне углов  $2\theta$  от 5 до  $90^\circ$ . Обработка дифрактограммы осуществлялась в программах DIFFRAC.EVA, TOPAZ.



Рис. 11. Дифрактометр рентгеновский порошковый D2 Phaser

Из каждой исходной пробы, а также по классам крупности и из тяжёлых хвостов гидросепарации отбирались аналитические навески гидросепарации для определения содержаний макро- и микрокомпонентов (методами РФА и ICP-MS).

Петрогенные оксиды ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.) определены методом РФА при сплавлении с смесью боратов лития в лаборатории ЦКП ФГБОУ «ПГНИУ». Порог обнаружения 0.01 мас. %.

Микрокомпоненты (As, Co, Ni и др) определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой после растворения в царской водке. Порог обнаружения зависит от определяемого элемента и варьирует в пределах 0.1-1 г/т.

Содержания благородных металлов (Au, Pd) определялись методом пробирного анализа с ICP-AAS окончанием. Порог обнаружения металлов 0.001 г/т.

*Статистическая обработка* данных проводилась с использованием компьютерного программного обеспечения: Microsoft Office, Gephi, Statistica.

Количественные соотношения минералов в полированных шлифах оценивались методом цветокодирования в характеристических рентгеновских излучениях на электронном микроанализаторе (рис. 12.).

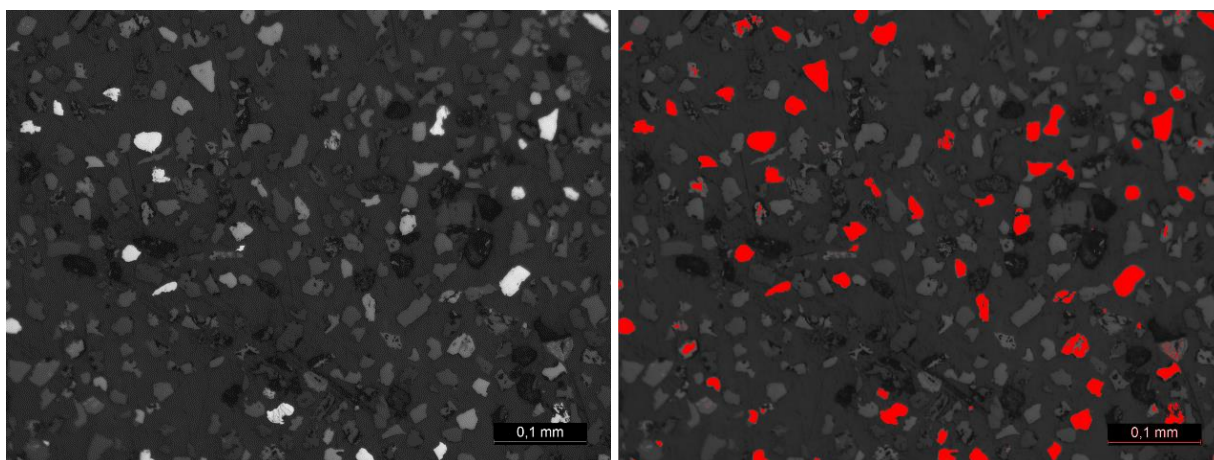


Рис. 12. Участок полированного шлифа «тяжелого» HS-концентрата (проба № 1): слева – BSE-фото, справа – цветокодированное изображение: сульфиды – красный.

Размер зерен минералов, необходимый для уточнения вскрытия частиц (средний эквивалентный диаметр – ECD, мкм) – диаметр круга, равного по площади изображению зерна минерала, – измерялся по их оптическим и BSE-фотографиям с использованием программного пакета ImageJ (рис. 13).

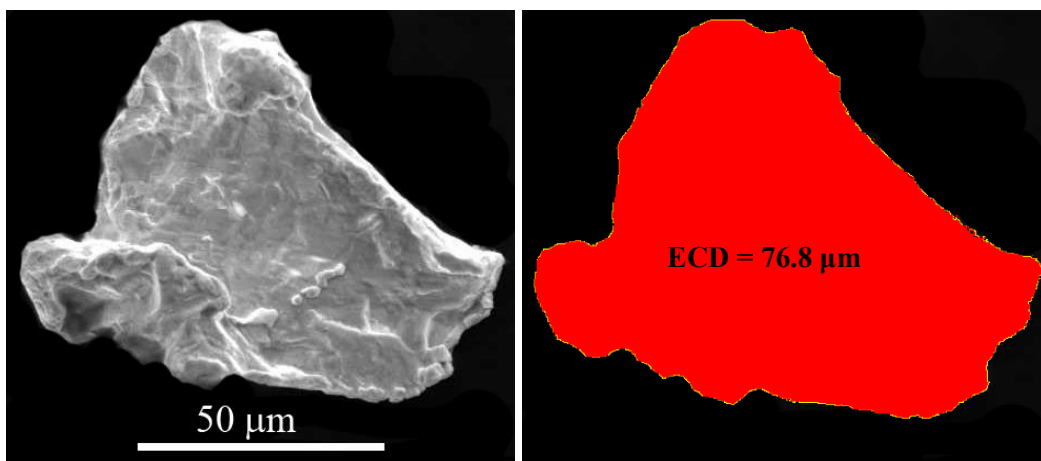


Рис. 13. Бинаризация снимка зерна самородного золота в программе ImageJ для определения эквивалентного диаметра частиц

Полированные шлифы «тяжелых» HS-концентратов – оптимальные объекты для современных физико-химических исследований «малых» минералов руд. Выполняется *автоматический анализ (MLA, mineral liberation analysis)* для одной или нескольких размерных фракций образца. Определяются полный минеральный состав «тяжелых» HS-концентратов, размеры зерен минералов благородных металлов и соотношения различных типов зерен этих минералов (степень их высвобождения) в измельченном продукте.

Вышеизложенные современные методы пробоподготовки и физико-химических исследований необходимы для комплексного и более детального изучения руд и технологических продуктов обогащения. Это способствует как изучению генетических особенностей образования месторождения, так и для подбора оптимальной технологии извлечения благородных металлов из руд.

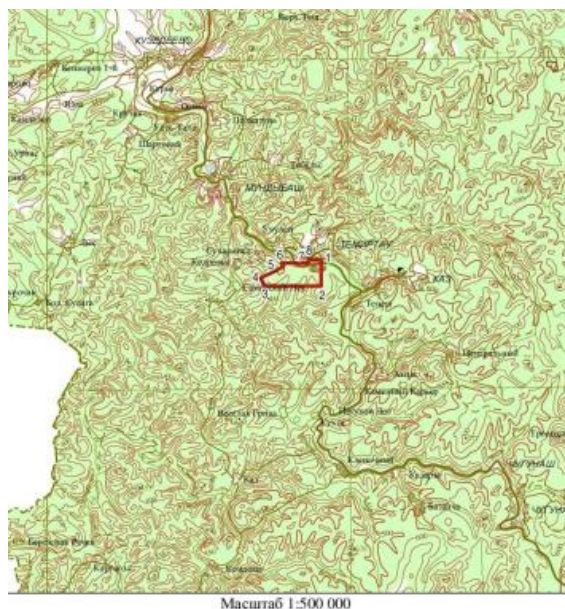
## 2. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

### 2.1. Географо-экономический очерк

Территория Каштауской рудоносной площади располагается в юго-восточной части Западной Сибири и входит в состав западной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО). В административном отношении Каштауская площадь расположена в Таштагольском районе Кемеровской области. Координаты исследуемой площади (рис. 14):

- 1)  $87^{\circ} 27' 15''$  с. ш.,  $53^{\circ} 07' 52''$  в. д.;
- 2)  $87^{\circ} 27' 14''$  с. ш.,  $53^{\circ} 06' 15''$  в. д.;
- 3)  $87^{\circ} 21' 37''$  с. ш.,  $53^{\circ} 06' 16''$  в. д.;
- 4)  $87^{\circ} 21' 12''$  с. ш.,  $53^{\circ} 06' 46''$  в. д.;
- 5)  $87^{\circ} 23' 29''$  с. ш.,  $53^{\circ} 07' 25''$  в. д.;
- 6)  $87^{\circ} 23' 17''$  с. ш.,  $53^{\circ} 07' 39''$  в. д.;
- 7)  $87^{\circ} 25' 59''$  с. ш.,  $53^{\circ} 07' 38''$  в. д.;
- 8)  $87^{\circ} 25' 59''$  с. ш.,  $53^{\circ} 07' 52''$  в. д.;

Площадь работ представляет собой горно-таежную местность с абсолютными высотами 400-600 м. Рельеф низкогорный, хорошо расчлененный. Участок пространственно расположен в водораздельной части р. Татарский Тенеш и р. Учуден притоков р. Мундыбаш, относящийся к бассейну р. Кондомы (рис. 14).




 Контур Каштауской рудоносной площади

Рис. 14. Обзорная карта района работ 1:500 000

Климат района резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха  $+1.4^{\circ}\text{C}$ , при минимальной зимней  $-50^{\circ}\text{C}$  и максимальной летней  $+37^{\circ}\text{C}$ . Годовое количество осадков

900-1200 мм; относительная влажность воздуха 71%. Снежный покров достигает глубины до 3 м и держится в среднем 195 дней в году – с конца октября до начала мая.

Территория района покрыта черневой тайгой, которая представлена пихтой, кедром, осиной и густым подлеском. Залесенность площади составляет более 90%. Вследствие массовых вырубок, некогда хвойная пихтово-кедровая тайга сменилась существенно березово-осиновой (вторичный лес). Пихта и кедр сохранились в виде небольших массивов в трудно доступных местах. Характерен густой кустарниковый подлесок (рябина, черемуха, шиповник и др.), сочетающийся с таежным высокотравьем.

Характерен высокий до 2-3 м и густой травяной покров. Выработанные речные долины большей частью заболочены и заросли тальников.

Животный мир в количественном отношении беден, но достаточно разнообразен. В лесах водятся лоси, маралы, козы, белки, норки и бурундуки. Пернатая дичь – рябчики и глухари. В реках обитают хариус, чебак, щука и окунь.

Экономически район хорошо развит, расположен в зоне влияния крупных действующих горнорудных предприятий. Территория характеризуется развитой инфраструктурой, которая состоит из действующих горнорудных предприятий: Таштагольский, Шерегешский, Казский и Темирский рудники. В пределах территории все железорудные месторождения Горной Шории, ряд месторождений флюсовых известняков, кварцитов, золота, многочисленные проявления марганца, меди, полиметаллического сырья и других полезных ископаемых. Профилирующими полезными ископаемыми являются железо и золото.

Геологическое, геоморфологическое, геофизическое строение площади сложное. Обнажённость района плохая. Большая часть обнажений приурочена к крутым бортам рек, к техногенным крутым откосам железных и шоссейных дорог.

Наиболее крупным населенным пунктом района является поселок Темиртау, который связан железнодорожной магистралью (90 км) и улучшенной автотрассой (75 км) с г. Новокузнецк.

## **2.2. Стратиграфия**

Каштауская площадь выделяется в составе Тельбесского золотосодержащего железорудного узла, который расположен в южной части Кемеровской области. Геологическая структура Тельбесского района, расположена в пределах одноименного грабена, имеет мелкоблоковое строение. Четко выраженные поднятия сложены вендскими и раннекембрийскими породами, прогибы выполнены ордовикскими и девонскими



отложениями. Структурное строение рудного района является результирующей каледонского и герцинского тектоно-магматических этапов развития. (Дубский, 2009ф)

Каштауская рудоносная площадь непосредственно приурочена к субширотному, восток-северо-восточному Темир-Ташелгинскому разлому, который является структурой второго порядка по отношению к Кузнецко-Алтайскому глубинному разлому. Рудоносной структурой является Тельбесский грабен, ограниченный системой разрывных нарушений зоны Темир-Ташелгинского разлома Тельбесско-Шипилинской группы. В структурном плане грабен осложнен с севера гранитами и гранодиоритами второй фазы внедрения тельбесского монцодиорит-гранодиорит-меланогранитового комплекса ( $D_{1tl}$ ), являющейся рудогенерирующей формацией. С юга на отложения структуры Тельбесского грабена наложены вулканогенные образования учуленской и тазовской свит девонского Тельбесского прогиба, они инъецированы интрузивными массивами щелочных гранитов кистальского комплекса ( $D_{1ks}$ ) (рис. 15).



Рис. 15. Участок Прогнозно-минерагенической карты Тельбесского золотосодержащего железорудного узла. 1:200 000 (Демидов и др., 2015ф)

Стратифицированные отложения и образования представлены: сланцево-карбонатные отложения венда (самарская и пасекская толщи  $V_{sm+ps}$ ), осадочно-вулканогенными образованиями андезито-базальтовой, с рифовыми массивами известняков, формации раннего-среднего кембрий (сухаринская свита, адиацкая свита, мазасская свита, мундыбашская свита. Верхняя часть разреза сложена флишоидными отложениями алгаинской свиты. Диориты и монцодиориты первой фазы внедрения тельбесского комплекса – благоприятны для локализации золото-сульфидно-кварцевого оруденения.

Разновозрастные (венд-квартер) стратифицированные образования составляют большую часть площади района. Основание разреза составляет существенно карбонатный комплекс венда. Выше согласно залегает вулканогенно-осадочный ранне-среднекембрийский комплекс, в состав которого входят рифогенно-карбонатные, терригенные и вулканические формации. Образования комплекса несогласно перекрыты позднекембрийскими и ордовикскими отложениями, выше которых с резким угловым несогласием залегает мощный девонский и

раннекарбонный комплекс, перекрытые платформенными меловыми осадками. Меловые осадки перекрываются четвертичными образованиями.

Каштауская рудоносная площадь, выделена в составе Тельбесского золотосодержащего железорудного узла в северной части Катунско-Тельбесского рудного района. Поле развития золоторудной минерализации выражено в сопряженной надинтрузивной зоне экзоконтакта и апикальной зоне эндоконтакта Тельбесского гранитоидного массива в ядре Тенешской горст-антиклинали и зоне влияния регионального Темиро-Ташелгинского разлома. Надинтрузивная зона экзоконтакта в поднятом блоке сложена контактово-метаморфизованными сланцево-карбонатными отложениями венда (самарская и пасекская толщи –  $V^{sm+ps}$ ), раннеордовикскими флишоидными отложениями алгаинской свиты ( $C_3-O_{1a}$ ), слагающими на восточном фланге грабен-синклинальные структуры субширотного простирания. Апикальная часть массива сложена диоритами и монцодиоритами первой фазы внедрения тельбесского монцодиорит-гранодиорит-меланогранитового комплекса ( $D_{1tl_1}$ ), в северном экзоконтакте которого в породах тельбесского монцодиорит-гранодиорит-меланогранитового комплекса второй фазы внедрения ( $\gamma\delta D_{1tl_2}$ ) проявлены зоны скарнирования, включающие золоторудную минерализацию.

*Самарская и пасекская толщи венда объединенные ( $V^{sm+ps}$ )*

Раннепалеозойский (салаирский) Кузнецко-Алтайский ороген, в состав которого входит и Горная Шория, формировался по коре континентального типа протерозойского возраста, породы которой, в частности, обнажаются в виде обособленной центральной ступени сложного горста, именуемого Тенешским, отложения которого входят в состав Каштауской рудоносной площади.

В основании стратиграфического разреза Каштауской площади залегают объединенные самарская и пасекская толщи ( $V^{sm+ps}$ ). Выходы на дневную поверхность этих толщ откартированы в южной части площади работ, в бассейне ручьев Татарский Тенеш. Пасекская толща сложена темно-серыми углеродистыми известняками, часто песчанистыми с прослоями углеродисто-кремнистых сланцев и песчаников. Самарская толща сложена хлоритовыми, актинолитовыми, кварц-серицитовыми сланцами, песчаниками, туфопесчаниками, алевролитами, известняками, микрокварцитами, вулканитами основного и кислого состава.

Отложения толщи представлены известняками, сланцами хлоритовыми, актинолитовыми, кварц-серицитовыми, песчаниками и алевролитами, в структурном плане представленной в виде обособленной ступени сложного горста (Тенешский горст). В экзоконтакте с породами тельбесского комплекса метасланцы самарской и пасекской толщи гидротермально изменены, инъецированы дайками гранит-порфиров и диабазов тельбесского

комплекса второй фазы внедрения, поздней кристаллизации и пространственно связаны с золотооруденением прожилково-вкрапленного типа.

#### *Кембрийская система. Нижний и средний отделы*

Среди образований раннего и среднего кембрия преобладают вулканогенно-осадочные, формирование которых связывается с эволюцией Алтае-Кузнецкого венд-раннепалеозойского вулканоплутонического пояса в составе Тельбесского сектора (Бабин и др., 1999ф; Шокальский и др., 2000; Бабин и др., 2006ф)

В северо-западном крыле Бийского горст-антиклинория отложения собраны в напряженные складки с северо-восточным простиранием осей, крутыми падениями крыльев (углы 70-75°). Складки осложнены более мелкой напряженной (до изоклинальной) складчатостью вплоть до пloyчатости (Сергиенко и др., 1975ф).

В Тельбесском секторе базальтоиды усть-анзасской свиты замещены аномальной по составу для Алтае-Кузнецкого пояса андезитойдной ассоциацией сухаринского комплекса (одноименная свита)  $\epsilon_1$ , мазасской и мундыбашской свитами, последняя из которых представлена нерасчлененными отложениями.

#### *Сухаринская свита ( $\epsilon_{1sh}$ )*

Свита локализована в пределах Пасекского тектонического блока Тельбесского грабена (Сухаринский ареал), где вмещает Сухаринское, Темиртауское и Казское месторождения Тельбесского железорудного района, выделенной Гореловым с соавторами (Горелов и др., 1971; Горелов и др., 1973). Отложения синхронны с базальтоидами усть-анзасской свиты (Бабин и др., 2006).

Сухаринская свита слагает мелкие тектонические блоки на фрагментированных тектонизированных крыльях Сухаринской антиклинали. Она сложена мраморами доломитовыми, доломит-кальцитовыми, кальцитовыми, кварцитами, песчаниками, реже гравелитами, туфами и лавами андезитов, андезибазальтов, трахиандезитов, трахиандезибазальтов, иногда базальтов, трахибазальтов, еще реже андезидацитами. Присутствуют пластовые тела магнетитовых руд, туфопесчаники, алевролиты, туфоалевролиты, аргиллиты, туфы риодацитов.

#### *Мазасская свита ( $\epsilon_{1mz}$ )*

Свита сложена известняками, местами (район Сухаринского железорудного поля), с осадочными брекчиями в основании разреза и согласно перекрывается среднекембрийскими породами мундыбашской свиты. Ее мощность достигает 1000 м.

На контакте с интрузивными телами известняки превращаются в белые неравнозернистые (от мелко- до крупнозернистых) массивные мраморы с

гранобластовой структурой, состоящие из кальцита. Ширина зоны мраморизации зависит от размеров интрузивов, но не превышает 15-20 м.

Карбонатные породы свиты имеют рифовую природу, сформированы в условиях окраинного моря. Рифовые известняки часто состоят из водорослевых корочек (строматолиты и т. п.), коралловые и другие рифы могут покрываться корками из трубочек серпул и даже существуют фораминиферы, инкрустирующие поверхность рифов (Атлас текстур..., 1968). Такие породы являются качественным флюсовым сырьем для предприятий черной металлургии, служат благоприятной средой для размещения золото- и железооруденения.

#### *Мундыбашская свита (Є<sub>2</sub> mn)*

Отложения свиты распространены в бассейнах рек Черный и Бол. Таз, Тельбес, Учulen. С ее образованиями связано железооруденение Тельбесского района. Железорудные тела Тельбесского района размещены среди скарнированных и амфиболизированных туфогенно-осадочных пород верхней половины ее разреза. Мощность свиты оценивается в 1455 м (Яшин и др., 1981ф).

Свита сложена лавами и туфами трахибазальтов, базальтов, трахиандезибазальтов, андезибазальтов, реже трахиандезитов, трахитов, в виде прослоев присутствуют известняки, мергели, доломиты.

В Тельбесском грабене отложения согласно залегают на раннекембрийских археоциатовых известняках мазасской свиты, с размывом перекрываются позднекембрийскими осадками горношорской, с угловым и стратиграфическим несогласием – алгаинской (Є<sub>3</sub>-O<sub>1</sub>) свит (Поспелов и др., 1968; Яшин., 1969ф).

В Тельбесском районе отложения свиты смяты в линейные складки субширотной ориентировки (Яшин и др., 1981ф).

В зонах гидротермально-метасоматической проработки проявлены различные вторичные изменения: серицитизация, альбитизация, хлоритизация, амфиболизация, эпидотизация, карбонатизация, местами окварцевание и калишпатизация силикатных пород, вплоть до превращения их в хлорит-карбонат-эпидот-калишпатовые с альбитом, кварцем, гематитом и магнетитом метасоматиты. Карбонатные породы в этих зонах скарнированы, тремолитизированы, доломитизированы (Мельников и др., 1976ф; Орлов и др., 1972ф).

С образованиями свиты связано промышленное железооруденение Тельбесского грабенов. Они также вмещают полиметаллическое и золотооруденение.

#### *Кембрийская система. Верхний отдел*

#### *Горношорская свита (Є<sub>3</sub> gs)*

Свита сложена пестроцветными (от красноцветных до сероцветных) песчаниками и алевролитами, менее конгломератами, с маломощными прослоями известняков. Осадки

несогласно перекрывают отложения мундыбашской  $E_2$  и с размывом перекрываются образованиями алгаинской  $E_3-O_1$  свит. Мощность отложений в районе превышает 850 м (Синяков и др., 1957ф)

Большая часть свиты представлена пестроцветными песчаниками, местами в песчаниках присутствуют зерна роговой обманки, апатита, лейкоксена и магнетита (Сергиенко и др., 1971ф)

В контактах с раннедевонскими субвулканическими интрузиями известняки мраморизируются, а терригенные породы хлоритизируются и серицитизируются. В них также появляются маломощные (первые мм) прожилки эпидотового и кварц - эпидотового составов.

Отложения свиты благоприятны для размещения медного (медно-колчеданная формация) оруденения.

#### *Алгаинская свита ( $E_3-O_1al$ )*

Образования алгаинской свиты проявлены в виде небольших разобщенных полей в пределах Тельбесского грабена в бассейнах рр. Кондома. Свита представлена конгломератами, гравелитами, песчаниками аркозовыми, граувакковыми, полевошпатово-граувакковыми, реже олигомиктовыми, алевролитами, аргиллитами. Присутствуют единичные горизонты известняков мощностью до 120 м и мергелей. Преобладают песчаники и алевролиты. Мощность свиты в среднем составляет 710 м (Яшин и др., 1981ф).

В связи со становлением тельбесского интрузивного комплекса, обломочные породы свиты в различной степени подвержены вторичным изменениям: хлоритизация, эпидотизация, серицитизация и др., а обломки силикатных пород и полевых шпатов альбитизированы и серицитированы. В непосредственной близости от контакта с диоритами тельбесского комплекса терригенные породы превращены в роговики, а карбонатные - в эпидот-пироксен-гранатовые скарны или в мелкозернистые мраморы с тремолитом и эпидотом, где ширина оторочки приконтактных изменений (Синяков., 1974).

Породы свиты участвуют в строении складок линейного типа преимущественно субширотного простирания с крутыми падениями ( $50 - 80^0$ ) крыльев (Уваров и др., 201\*).

Отложения свиты благоприятны для размещения медного (медно-колчеданная формация) и золоторудного оруденения, кварцевых жил предположительно содержащих пьезооптический кварц.

#### *Амзасская свита ( $O_3am$ )*

По результатам многочисленных геологических исследований (Мельников и др., 1976ф; Яшин и др., 1981ф) на исследуемой территории отложения свиты представляют собой гидротермально измененными и скарнированными песчано-глинистыми и карбонатными породами. Мощность свиты в районе достигает 1500 м

Количественно преобладают песчаники. Конгломераты обычно залегают в основании разреза свиты, а карбонатные породы в его верхах.

Отложения с размывом и структурным несогласием перекрывают алгаинскую свиту, прорваны интрузиями посленсилурийско-раннедевонского тельбесского комплекса, участвуют в строении складок линейного типа преимущественно субширотного простирания с крутыми падениями (углы 40 - 70°) крыльев.

Полезных ископаемых в связи с образованиями амзасской свиты не установлено. Исключение – жилы кварца, возможно содержащие кристаллы с пьезоэлектрическими свойствами.

#### *Кора выветривания (до позднечетвертичного периода)*

Коры выветривания (K<sub>2</sub>- P<sub>2</sub>) и продукты их ближнего переотложения на площади планшета широко развиты на мел-палеогеновой поверхности выравнивания, приурочены к водораздельным пространствам на гипсометрическом уровне абсолютных высот 300-900 м. Они развиваются практически по всем типам магматических и осадочных пород палеозоя. Степень их сохранности выше там, где рельеф наименее расчленен.

Коры выветривания представлены буровато-жёлтым, светло-зеленовато-серым дресвяным каменным структурным элювием, глинистым структурным элювием, представляющим собой охристо-бурую, охристо-желтую глину липкую, вязкую с реликтовым «рисунком» структур материнской породы, пестроцветными глинами каолин-гидролюдистыми, каолин-монтмориллонитовыми, каолиновыми с гидроокислами марганца и железа.

По морфологии и характеру залегания выделяются обычно пространственно сочетающиеся площадные и линейные коры.

Линейные коры выветривания развиваются в зонах разрывных нарушений, на контактах карбонатных и алюмосиликатных пород, в зонах сульфидной минерализации. Их мощность зависит от характера рельефа и степени трещиноватости пород субстрата, достигает 100 и более метров.

Мощность площадных кор выветривания достигает 3-40 м. В основании разреза они постепенно переходят в невыветрелые материнские породы, а в его верхних частях несогласно (стратиграфическое несогласие) перекрываются четвертичными образованиями. В профиле кор выветривания выделяются четыре зоны (По К.К. Никитиной др., 1971) - (снизу вверх):

1. начальной гидратации, выщелачивания и дезинтеграции пород.
2. выщелачивания, гидратации и начального гидролиза.
3. гидролиза и конечного выщелачивания.

4. конечного гидролиза (образование окислов и гидроокислов элементов - гидролизаторов: марганца, железа, алюминия, титана и др.).

На железорудных месторождениях в верхних частях зоны коры выветривания развиты бурые железняки, сменяющиеся вниз по разрезу мартитовыми и полумартитовыми рудами, которые ниже плавно переходят в магнетитовые. Глубина развития окисленных руд в коре выветривания достигает 200 м.

По карбонатным породам района (спасская серия, самарская и пасекская свиты, сахаринская и мазасская свиты) развиты коры выветривания карстового типа. Они приурочены к полям закарстованных поверхностей, к палеозападинам, развиваются в виде линейных зон вдоль границ карбонатных и силикатных пород. На дневную поверхность карстовые коры выходят в виде мелких фрагментов на склонах с высотными отметками 380-700 м. Глубина карстовых воронок варьирует от 5 до 250 м. Воронки заполнены продуктами ближнего переотложения инситу кор выветривания, представленными пестроцветными глинами и суглинками со щебнем, супесями, обломками пород и лимонитизированных и мартитизированных железных руд.

По широко распространенным золотоносным телам и золотосодержащим породам района (сульфидные и сульфидно-магнетитовые руды) формировалась остаточная «in situ» кора выветривания, представленная зоной окисления, «железной шляпой» и содержащей повышенные концентрации золота. Форма его нахождения и размерность в значительной мере определяются исходными его параметрами в первичных золотоносных образованиях. Для Тельбесского района в продуктах зоны окисления характерно преимущественно мелкое и тонкодисперсное золото.

С корами выветривания связаны проявления вторичных марганцевых руд, бурых железняков, золота, вторичных фосфоритов, каолиновых глин.

Анализ закономерностей размещения известных в пределах Каштауской площади (западной части Тельбесского железорудного узла) различных вещественно-генетических типов образования коры выветривания в предшествующие годы проводился неоднократно, в связи со значительными перспективами данных образований в плане выявления с ними, различных полезных ископаемых, в т.ч. и золота. Обобщение материалов по золотоносным корам выветривания, установленным в пределах юго-западной части Горной Шории, включающей данную территорию, способствовало выявлению ряда факторов, определяющих особенности их распространения, локализации и прогнозной значимости.

Реликты остаточных золотоносных кор выветривания известны практически в пределах всех рудных участков района (Дегтярный, Малиновый, Шор-Шалбан Северный, Шор-Шалбан Южный) Каштауской рудоносной площади. В разных частях зоны окисления

они представлены массивными, валунистыми или глинисто-охристыми образованиями. Строение зоны окисления и закономерности распределения в ее пределах золота является предметом дальнейших исследований. Содержания золота в окисленных золото-сульфидно-кварцевых рудах участка Шор-Шалбан Южный достигают 48 г/т (Демидов и др., 2015ф).

### *Квартер (Q)*

Покровные образования четвертичной системы распространены повсеместно, за исключением скальных обрывов рек с молодым эрозионным врезом и скальных останцов на вершинах и склонах водораздельных хребтов, сложенных наиболее устойчивыми к выветриванию породами. Состав и строение покровного чехла находится в прямой связи с морфологией рельефа. По типу рельефа территория делится на низкогорную часть с мелкорасчленённым горно-таёжным ландшафтом и среднегорную, со среднерасчленённым рельефом с немногочисленными круто врезанными логами и ручьями.

Для низкогорного рельефа характерны выположенные водоразделы, перекрытые субаэральными лессовидными суглинками, часто залегающими на корях выветривания, развитых по палеозойским породам.

На крутых склонах низкогорного рельефа с южной, юго-западной и юго-восточной экспозицией преобладают обломочные фации – делювиальные и пролювиальные сцементированные субаэральными пылеватыми глинами и суглинками. В условиях низкогорных частей рельефа формируются щебнистые, дресвяно-щебнистые элювиальные и делювиальные образования.

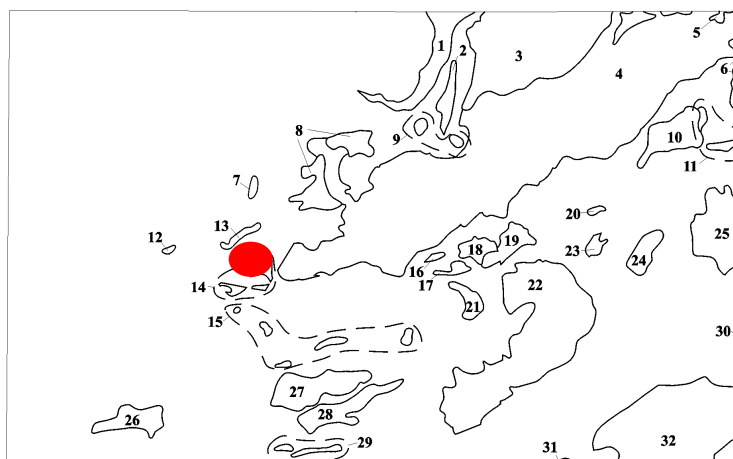
На днищах речных долин и в подножиях склонов развиты аллювиальные, аллювиально-делювиальные и пролювиально-делювиальные образования, формируемые постоянными и временными водотоками.

Параллельно с эрозионными процессами, на протяжении всего четвертичного периода, шёл процесс субаэрного осадконакопления, выразившийся в формировании лессовидных глин, перекрывающих и цементирующих обломочный материал, сформированный за счёт палеозойского комплекса пород, в том числе и развитых по ним кор выветривания.

### **2.3. Магматические образования**

Интрузивный магматизм Тельбесского района связан с ранне-среднекембрийским, позднесилурийско-раннедевонским и ранне-среднедевонским этапами геологической эволюции. Его проявления объединены в рамках Алтае-Кузнецкого венд-раннепалеозойского и Алтае-Минусинского ранне-среднедевонского вулcano-плутонических (магматических) поясов (Бабин и др., 1999ф) (рис. 16).





1 – Монастырский (экструзия риолитов); 2 – г. Лысой; 3 – Мезинский; 4 – Тельбесский; 5 – Нижнекендасский; 6 – Большереченский; 7 – руч. Кроличий; 8 – Кайлюкольский; 9 – Южно-Монастырская группа. 10 – Чернотазовский; 11 – Пичугинская группа; 12 – Турундукский; 13 – Колбайский; 14 – Сухаринская группа; 15 – Чернотенешская группа; 16 – Леспромхозный; 17 – Казский; 18 – г.Малиновой; 19 – Калтрыкский; 20 – Усть-Чернотазовский; 21 – Южно-Казский; 22 – Анзайский; 23 – Тайгажирский; 24 – Кедровский-1; 25 – Мастакольский; 26 – Астафейкинский; 27 – Тамбовский; 28 – Тарлашкинский; 29 – группа гривы Веселой; 30 – Викторьевский; 31 – Чугунашский.

Рис. 16. Схема расположения интрузивных массивов. Красным обозначен Тельбесский район АССО.

Интрузии Тельбесского сектора Алтае-Минусинского вулcano-плутонического (магматического) пояса представлены габбро-гранитными сериями позднего силура-раннего девона, раннего и среднего девона. Позднесилурийско-раннедевонские образования включают большереченский диорит-габброноритовый и тельбесский монцодиорит-гранодиорит-меланогранитовый комплексы. Раннедевонские интрузии калбайского габбро-диоритового и кистальского граносиенит-гранит-лейкогранитового комплексов.

Становление массива проходило в три фазы внедрения: первая – монцодиориты и диориты, вторая – кварцевые монцониты и гранодиориты; третья – умереннощелочные лейкограниты.

С формированием магматического комплекса тесно связано образование контактово-метасоматических и метасоматических пород (скарны, скарноиды, роговики и др.) и приуроченного к ним железо-скарнового медно-железно-скарнового, медно-молибден-порфинового и золото-сульфидного оруденения. В размещении этих типов оруденения значительная роль принадлежит тектоническим нарушениям, ослабленным зонам преимущественно северо-западного и северо-восточного направлений, по которым, по-видимому, и происходило развитие метасоматических и рудообразующих процессов.

Обращает на себя внимание отличие морфологии интрузивных образований первой и второй фазы внедрения Тельбесского интрузивного комплекса. Для интрузий первой фазы внедрения характерны сравнительно небольшие по площади массивы. Контакты их с

вмещающими породами как дискордантные слоистости, крутопадающие, так и субсогласные, силлоподобные. Характерна извилистая, заливообразная форма контактов; наличия большого количества сателлитов вокруг сравнительно крупных интрузий. Эндоконтактовая зона, как правило, насыщена большим количеством ксенолитов осадочных пород: при документации керн скважин наблюдались интервалы стволовой мощностью до 10 м, где количество интрузивных и осадочных пород было приблизительно одинаковым. Вышеперечисленные факторы, в сочетании с широким проявлением процессов скарнирования в эндо-экзоконтактовой зоне диоритовых интрузий создает гетерогенную среду, выражающуюся в перемежаемости контрастных по физико-механическим свойствам пород. Как будет показано ниже, все это создает предпосылки для возникновения зон брекчирования различной ориентировки, которые являлись благоприятной средой для рудоотложения.

#### *Гидротермально-метасоматические образования*

К формации известковых скарнов отнесены все те зональные метасоматические образования, внутренние зоны которых представлены типичными скарновыми парагенезисами. Для известковых скарнов Каштауской рудоносной площади характерна следующая метасоматическая зональность:

0. Кварцевый гранодиорит (Pl+Fsp+Q+Bt+Px);

1. Пироксен-плагиоклазовая порода (Pl+Fsp+Px+Q);

2. Эндоскарн (Px+Pl+Fsp);

3. Пироксен-гранатовый экзоскарн (Px+Grt+Ep);

4. Гранатовый экзоскарн (Grt+Chl+Ep)

00. Известняк, мраморизованный известняк, доломитистый мрамор. (Cc, dol)

Обозначения: Bt - слюда, Cc - кальцит, Chl - хлорит, Dol - доломит, Ep - эпидот, Fsp – калиевые полевые шпаты, Grt - гранат, Pl - плагиоклаз, Px - пироксен, Q – кварц.

С формированием известковых скарнов сопряжено образование промышленных концентраций железа, кобальта, мышьяка, меди и др. Большое промышленное значение имеют наложенные руды, возникающие в результате взаимодействия растворов стадии кислотного выщелачивания с основной средой скарнов, являющихся исключительно благоприятной средой, геохимическим барьером для разного типа оруденения, в т.ч для золотого.

#### **2.4. Тектоника**

Каштауская рудоносная площадь приурочена к субширотному, восток-северо-восточному Темир-Ташелгинскому разлому, являющимся структурой второго порядка по отношению к Кузнецко-Алтайскому глубинному разлому.

Кузнецко-Алтайский разлом является основной тектонической структурой региона, история его развития определяет историю геологического развития региона в целом. Этот разлом в пределах Кузнецкого Алатау и Горного Алтая прослеживается в меридиональном направлении на расстояние более 1 000 км при ширине от 3 -5 до 15-35 км. Плоскость главного сместителя разлома падает на восток под углом 65-85. Горные породы в зоне разлома испытывали интенсивное тектоническое воздействие, выразившееся в интенсивном смятии, кливажировании и рассланцевании пород, проявлении в них метаморфизма фации зеленых сланцев (Алабин, Калинин, 1999).

Кузнецко-Алтайский разлом разграничивает окраинно-континентальный и островодужный комплексы Мрасской и Ортонской структурно-формационных подзон на востоке от пород океанического комплекса Тельбесско-Бийской структурно-формационной зоны на западе. В частности, Тельбесско-Сухаринский горст трактуется Л.В. Алабиным и Ю.Г. Калининым как фрагмент островной дуги, сложенный толеитовыми базальтами с чехлом кремнисто-карбонатных пород. На западе породы океанического комплекса перекрываются рифтогенными внутриплитными комплексами наложенной Кузнецкой впадины.

В  $R_3$ - $E_1$  в зоне формирующегося разлома произошел подвиг океанической тектонической структуры под окраинно-континентальную. Одновременно со сжимающими усилиями в плоскости разлома проявились горизонтальные напряжения правостороннего сдвига, что привело к заложению оперяющих разрывов северо-восточного простирания (Ташелгино-Кондомский разлом) и др. Напряжения правостороннего сдвига послужили, вероятно, причиной заложения также и субширотной Темир-Ташелгинской зоны разломов. По мнению Л.В. Алабина и Ю.Г. Калинина зоны разломов субширотного простирания имеют сквозной характер – пересекают наряду с раннекаледонской (салаирской) каледонские и герцинские складчатые структуры, что свидетельствует об их длительном развитии и глубинной природе. Они прослеживаются на сотни километров, продолжаются в соседние регионы. Их следует относить к категории поперечных сквозных глубинных разломов, возможно, трансформного типа, аналогичных развитым на юге складчатого обрамления Сибирской платформы) (Алабин, Калинин, 1999).

Темир-Ташелгинская зона разлома по геофизическим данным (Антипов и др., 1976ф) представляет из себя серию нарушений, кулисообразно сменяющих друг друга. Общая мощность зоны разломов достигает 6-8 км. К этой зоне приурочена цепочка железорудных полей, от Сухаринского на западе, до Тазского на востоке, непосредственной близости от Кузнецко-Алтайского разлома.

Правосдвиговые движения по Кузнецко-Алтайскому разлому, ознаменовавшие начало процесса субдукции, обусловили разноамплитудные взбросовые, взбросо-сдвиговые

движения по Темир-Ташелгинскому разлому, что, в свою очередь, привело к усложнению строения Тельбесско-Сухаринского горста. В результате сформировались Тенешский горст, Сухаринско-Темир-Таусский выступ и разделяющий их Каштауский грабен.

Сочетание субмеридионального Кузнецко-Алтайского разлома с субширотными обусловило, наряду с линейной (формационной), блоковую зональность региона, тем самым, создав его линейно-блоковое тектоническое строение (Алабин, Калинин, 1999).

Руководствуясь рудогенерирующей гипотезой, предложенной М.М. Константиновым и др. (Константинов и др., 2000), события, приведшие к формированию Тельбесского плутона и золоторудной минерализации можно представить следующим образом:

1. Отделение диорит-гранодиоритового расплава от первичного основного-ультраосновного очага.

2. Перераспределение золота из его первичного концентратора – основного-ультраосновного очага в гранодиорит-диоритовый, причем флюидная фаза служит основным агентом такого переноса.

3. Становление крупной термокупольной структуры, картируемой на современном эрозионном срезе как Тельбесский массив. Каштауская рудоносная площадь находится на самой юго-западной его оконечности.

Поле развития золоторудной минерализации выражено в сопряженной надинтрузивной зоне экзоконтакта и апикальной зоне эндоконтакта Тельбесского гранитоидного массива в ядре Тенешской горст-антиклинали и зоне влияния регионального Темир-Ташелгинского разлома. Надинтрузивная зона экзоконтакта в поднятом блоке сложена контактово-метаморфизованными сланцево-карбонатными отложениями венда, раннеордовикскими флишоидными отложениями, слагающими на восточном фланге грабен-синклинальные структуры субширотного простирания. Краевой разлом центральной ступени горста, видимо, служил экраном при формировании пород тельбесского массива, первой фазы внедрения, что не явилось препятствием для контактового и последующего гидротермального воздействия интрузива на породы самарской и пасекской толщи.

Структурами первого порядка для Каштауской рудоносной площади являются нарушения субширотного, запад-северо-западного простирания – элементы Темир-Ташелгинской зоны разломов.

Наличие двух дизъюнктивов, ограничивающих рудное поле, является определяющим моментом в его строении. Подобное явление описано на ряде месторождений (Мурунтау, Наталкинское, Калгурли и др.) Блок, ограниченный парой разломов, претерпел интенсивное тектоническое воздействие, что определило его как наиболее благоприятное место для локализации оруденения. Внутри рудного поля также можно видеть пары разломов «второго

порядка», этим определяется неоднородность тектонической подготовки отдельных блоков рудного поля и, тем самым, различия в их рудоносности.

В целом дизъюнктивы Темир-Ташелгинской зоны разломов являлись рудоподводящими структурами и рудораспределяющими внутри рудного поля.

Собственно рудовмещающими являются нарушения высоких порядков: послойные и секущие зоны дробления, трещиноватости, кливажирования, смятия и рассланцевания. Процесс образования этих зон можно считать непосредственной тектонической подготовкой вмещающих пород для гидротермально-метасоматических изменений и последующего рудоотложения.

Формируются не линейно-вытянутые зоны, а ореолы ветвящейся формы с неровными заливообразными контактами. Породы в этих зонах практически полностью подвержены предрудным гидротермально-метасоматическим изменениям.

Парагенезис дизъюнктивов первого и второго порядков послужил причиной формирования обособленного блока, являющимся собственно Каштауским рудным полем. Для подобных блоков Ю.И. Новожиловым и А.М. Гавриловым введен специальный термин – рудолокализирующие блоки особого развития (РБОР).

Подобные блоки часто располагаются на склонах магматогенных сводово-купольных поднятий, особенно на участках их осложнений положительными структурами более высоких порядков. В дальнейшей истории рудных районов РБОР выступали как единые, целостные рудолокализирующие структуры, в пределах которых сосредотачиваются разновременные метаморфические преобразования пород как прогрессивного, так и ретроградного типа, проявления магматизма, главным образом, трещинного, многостадийная гидротермальная минерализация и предшествовавшие ей предрудные изменения пород (Новожилов, Гаврилов, 1999). Все вышеперечисленные особенности, характерные для РБОР, присущи и Каштауской рудоносной площади.

Для более ясного понимания условий локализации оруденения следует остановиться на компетентности вмещающих пород и, как следствие, литологическом контроле оруденения. Широкое влияние этих факторов не однократно отмечалось при описании золоторудных месторождений (Новожилов, Гаврилов, 1999; Константинов и др., 2000). Очевидно, что наиболее благоприятной средой для локализации оруденения являются контрастные по физико-механическим свойствам и литологическим особенностям толщи и горизонты тонкого переслаивания, отличающиеся повышенной способностью к пластическим деформациям. На многих месторождениях было замечено, что известковистые Геологическое строение Каштауской площади сложное, процессы, приведшие к формированию рудного поля, длительны, многостадийны.

Обобщая данные о геологическом строении и сравнивая его с эталонными объектами, можно сделать вывод, что по классификации М.М. Константинова и др. (Константинов, 2000ф) золоторудные объекты Каштауской рудоносной площади относятся к месторождениям, локализующимся в протяженных и широких рудоносных трещинных системах и зонах напряженной складчатости. Большая часть площади находится в гетерогенной геологической среде; лишь в его северной части (уч. Шор-Шалбан Северный) геологическая среда более-менее однородна. Если большая часть рудного поля находится на периферии термокупольной структуры Тельбесского массива, то его северная часть расположена ближе к центру. Можно предположить, что из-за близости к осевой части купола напряжения сжатия в период рудообразования были менее устойчивы, поэтому здесь возможно образование жильной минерализации, в отличие от прожилково-вкрапленного оруденения южной части площади.

Как уже отмечалось выше, к Темир-Ташелгинскому глубинному разлому приурочен одноименный железорудный пояс. Золотоносность железорудных месторождений изучена крайне неравномерно, тем не менее, на практически всех железорудных полях золоторудный процесс в той или иной мере проявлен. Это послужило причиной выделения золотосодержащей скарново-магнетитовой формации (Алабин, Калинин, 1999). В тоже время, имеются многочисленные примеры пространственной разобщенности скарнового и золоторудного процессов. Кроме того, эти процессы оторваны друг от друга и во времени. В промежутке между образованием магнетитовых и золоторудных тел произошло внедрение даек диабазов. Из этого следует вывод, что совмещение золоторудного и скарнового процессов обусловлено контролем одними и теми же тектоническими структурами, а генетической связи между ними нет.

Вышеизложенное дает основание выделить крупную золотоносную структуру с сопутствующей Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Co, Te и др. минерализацией, контролирующуюся Темир-Ташелгинским глубинным разломом. Эта зона протягивается от Кузнецко-Алтайского глубинного разлома на востоке через Каштаускую площадь до Сухаринского рудного поля и, вполне вероятно, далее на запад, под вулканогенно-осадочными толщами Кузнецкой впадины, т.е. на протяжении более 60 км. Следует иметь в виду, что на выявление золоторудных объектов перспективны не только железорудные узлы, но и вся зона в целом.

## **2.5. Полезные ископаемые**

Тельбесский район характеризуется широким спектром полезных ископаемых, ведущим из которых является железо. Известны рудопроявления золота, а также ряд золотороссыпных объектов.

На площади выявлены многочисленные проявления, пункты минерализации черных, цветных, благородных и радиоактивных металлов, химического сырья (барит, флюорит, бор и др.), а также геохимические аномалии различных элементов, шлиховые ореолы и шлиховые потоки золота (Уваров и др., 201\*).

*Благородные металлы. Золото коренное*

В пределах района известно 2 мелких месторождения (Каларское и Кочуринское), 24 проявления, 43 пункта минерализации коренного золота. Они, как и его россыпи, входят в состав Сийско-Кочуринского, Викторьевского, Базанчинско-Чугунашского прогнозируемых золоторудно-россыпных узлов Катунско-Тельбесской золоторудной минерагенической зоны, а также в состав Каларского (Кабурчакского) серебряно-золоторудного узла Антроповско-Усинского медно-серебряно-золоторудного района.

Концентрации золота связаны с разновозрастными образованиями, относятся к золоторудной кварцевой, золоторудной полиметаллической, золото-сульфидной и серебряно-золотой (золото-серебряной) формациям. Золото также присутствует в марганценосных корках выветривания и в корках, развитых по золотосодержащим образованиям и сульфидным залежам территории. Наибольшее количество золоторудных объектов планшета принадлежит серебряно-золоторудной, несколько меньше - золоторудной полиметаллической формациям.

Золотооруденение золоторудной полиметаллической формации представлено на площади 13 проявлениями и 21 пунктом минерализации, основная часть которых связана с зонами сульфидной минерализации, накладывающимися на железорудные тела и скарны Тельбесского (Темир-Тауское, Сухаринское, Казское, Мастакольское и др. месторождения железа) и Кондомского (Кочуринские участки) железорудных районов.

Золотое оруденение в железных рудах и скарнах Тельбесского железорудного района выявлено в 1961 году геологами Тельбесской партии (Хютте и др., 1961ф), связано наложенными пирротинном, пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, базовисмутитом, тетрадимитом, иницировано тельбесским комплексом S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub> (Яшин и др., 1981ф; Демидов и др., 2008ф). Проявления и пункты минерализации золота представляют собой линзовидно-линейные и столбообразные крутоставленные сульфидно-кварцевые и сульфидные зоны (рудные тела) мощностью от 2.0 до 16.0 м, локализованные в магнетитовых рудах и скарнах. Золото находится в самородном виде или образует твердый раствор с серебром в различных содержаниях полезного компонента. Его содержания колеблются от 0.8 до 106.6 г/т, в среднем 3.7 г/т (Демидов и др., 2008ф; Дубский и др., 2012ф).

В Тельбесском железорудном районе присутствие золота установлено в трех железорудных узлах (Демидов и др., 2001ф): Сухаринском, Казском, Малотазовском.

Наиболее типичным и изученным в районе является *золотооруденение Казского железорудного узла*. В его пределах выделено более 30 золотоносных сульфидных круто падающих залежей, наложенных на магнетитовые руды и скарны. Протяженность залежей от первых десятков до сотни метров, мощность от 1.5 до 27.5 м. Они приурочены к участкам малоамплитудных складок и зонам тектонических нарушений. Золото и серебро локализуются в сульфидно-магнетитовых телах, в которых сульфиды (пирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит, иногда еще и молибденит) составляют от 0,5 до 50 % рудной массы, местами образуют линзы сплошных колчеданно-полиметаллических руд. Среднее содержание золота в них составляет от 1.3 до 7.0 г/т, серебра - от 5 до 40 г/т. (Демидов и др., 2008ф).

#### *Черные металлы. Железо*

*С магнетитовой скарновой рудной формацией* связаны все разрабатываемые и отработанные месторождения железа.

*Тельбесский железорудный район* включает одноименный Сухаринский, Казский и Малотазовский рудные узлы. Наиболее крупные залежи железных руд района локализованы в раннекембрийских отложениях сухаринской свиты: участки Сухаринского, Казского, Темиртауского рудных полей. Реже (Малотазовский рудный узел) оруденение размещается среди отложений мазасской  $\epsilon_1$  и мундыбашской  $\epsilon_2$  свит и Одра-Башское месторождения, рудопроявление Улу-Тау Тельбесского железорудного узла).

Образование железных руд Тельбесского железорудного района полистадийное и полихронное. В пределах Казском рудном узле на первой стадии, в раннем кембрии, в отложениях сухаринской свиты формируются вулканогенно-осадочные залежи железа. На второй, рудно-скарновой, наиболее продуктивной стадии, связанной со становлением раннекембрийского леспромхозного монцогаббро-меланосиенитового комплекса, они преобразуются в скарново-магнетитовые руды.

#### *Цветные металлы. Медь*

На площади исследуемой площади известно 3 проявления и 32 пункта минерализации меди медно-эпидотовой, 1 проявление и 35 пунктов минерализации медно-колчеданной формаций, ряд геохимических аномалий

В качестве сопутствующих, минералы меди (халькопирит, халькозин, кубанит и др.) присутствуют в полиметаллическом, золоторудном, железорудном оруденении района. Отмечаются также не имеющие практического значения повышенные содержания меди в зонах гидротермальной сульфидной минерализации, развивающихся по породам разного состава и возраста (Уваров и др., 201\*).

#### *Свинец, цинк*



Полиметаллическое оруденение не имеет широкого распространения, относится к полиметаллически - колчеданной рудной формации, представлено малым Тургеневским месторождением, многочисленными проявлениями и пунктами минерализации, а также рядом геохимическими аномалиями. В значительной части рудных объектов преобладает Pb.

Полиметаллическая минерализация также сопровождает скарново-магнетитовое и золотое оруденение района. На ряде объектов района пирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит, иногда молибденит слагали «сливные» линзы среди скарново-магнетитовых руд (Хютте и др., 1961ф; Яшин и др., 1981ф; Демидов и др., 2001ф). В отдельных случаях полиметаллическое оруденение обособлено от железных руд. С зонами сульфидной минерализации в железных рудах ассоциирует золото. Вертикальный размах золото-сульфидного оруденения достигает тысячи и более метров (Казское рудное поле).

### 3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

#### 3.1 Первичная сульфидная руда

Материал первичных сульфидных руд изучен макроскопически в виде половинок керна (рис. 17), наиболее характерные образцы изучены в шлифах, ппш и аншлифах. Закономерности распределения минералов по мере дробления прослежены в продуктах мокрого отсева. По результатам исследований в отражённом и проходящем свете установлены три главные структурно-минеральные разности: скарн такситовый и скарн гнейсовидный (эндоскарн) и гранат-пироксеновый экзоскарн.

Текстура руды определяется пространственным взаиморасположением минеральных агрегатов. Отличающих друг от друга по форме, размерам. Составу и структуре. С этой точки зрения можно различать макротекстуру и микротекстуру. Макротекстура различается глазомерно в отдельных штуфах руды или в керновых пробах. Микротекстуры наблюдаются при наблюдении под микроскопом.

Структура руды определяется размером и способом сочетания минералов или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах. Различают макроструктуру, наблюдаемую в крупнозернистых минеральных агрегатах на глаз, и микроструктуру, выявляемую в мелкозернистых агрегатах под микроскопом

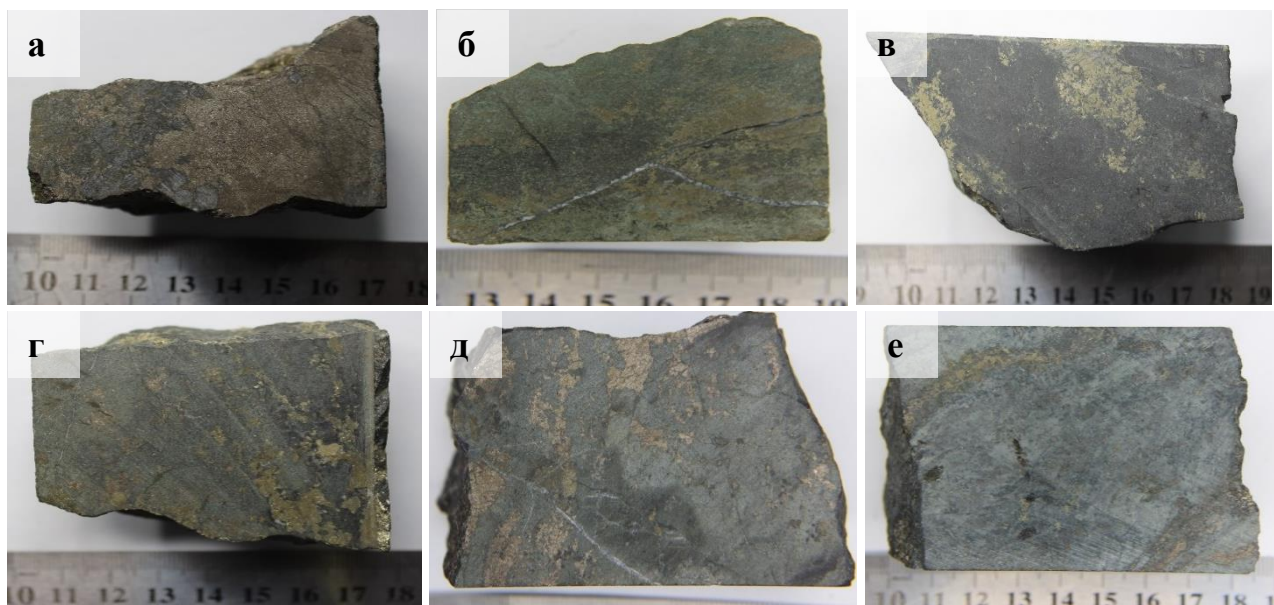


Рис. 17. Характерные текстуры исследуемых руд. а- массивная, б – густовкрапленная, в – гнездовидно-вкрапленная, г – гнездово-прожилковая, д – прожилково-вкрапленная, е – прожилковая.

Для объекта характерны различные текстуры руд: от массивных, представленных в основе своей пирротином и пиритом, до рассеяновкрапленной. Для массивной текстуры характерно равномерное сплошное распределение часто мономинерального сложения.

Часто встречаются руды с прожилковой, прожилково-вкрапленной и вкрапленной текстурами, которые представляют системы сетчатых или субпараллельных прожилков, а вкрапленная – неправильные и неравномерные скопления рудных минералов среди нерудной матрицы.

Структура руд чаще всего равномернoзернистая, определяющая строение рудной массы, которая сложена равновеликими агрегатами минералов сравнительно изометричных зерен.

#### *Минеральный состав руды*

Материал пробы первичных руд представлен контактово-метасоматическими породами: известковыми скарнами, с наложенной гидротермальной минерализацией. Методом рентгенофазового анализа определен валовый минеральный состав исходных проб (табл. 3).

Таблица 3

Результаты количественного фазового рентгеновского анализа исходной пробы первичной руды, мас. %

Название минералов	Формула	Содержание, мас. %
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	17.7
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	17.3
Плагиоклазы	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	16.1
Хлорит	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	12.7
Кальцит	$\text{CaCO}_3$	7.6
Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})(\text{OH})_2$	4.7
Пирит	$\text{FeS}_2$	4.6
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	4.6
Кварц	$\text{SiO}_2$	4.0
Пирротин	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	3.7
Магнетит	$\text{FeFe}_2\text{O}_4$	2.4
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	1.7
Гётит	$\text{FeO}(\text{OH})$	1.1
<b>Сумма:</b>		<b>100.0</b>

По результатам рентгенофазового анализа материал первичных руд состоит из геденбергита, граната и плагиоклаза (17.7, 17.3 и 16.1 мас. % соответственно). Высокие содержания в первичной пробе актинолита и эпидота (4.7 и 4.6 мас. %) связаны с особенностями минералогии контактовых скарнов: вторичные изменения по минералам известковых скарнов.

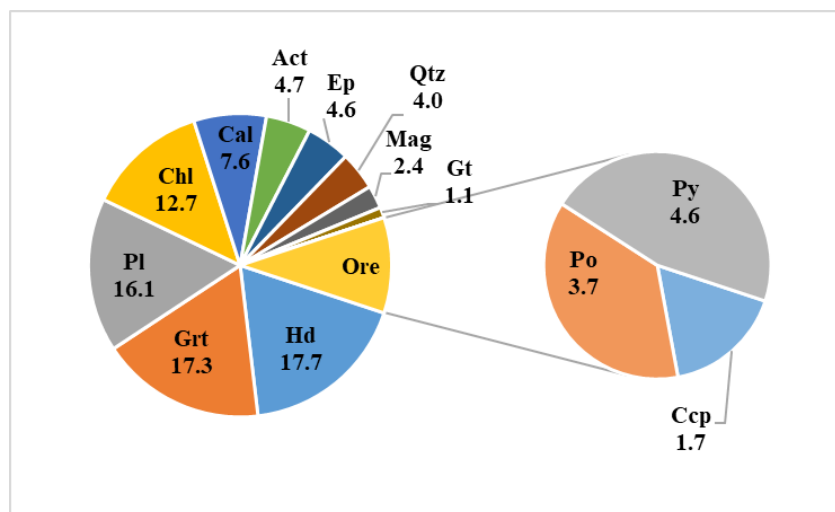


Рис. 18. Минеральный состав и соотношения главных породообразующих и рудных минералов усредненной пробы первичной руды. Pl - плаггиоклазы, Gt - гётит, Grt - гранат, Hd - геденбергит, Qtz - кварц, Cal – кальцит, Chl - хлорит, Ep - эпидот, Act - актинолит, Mag – магнетит, Py - пирит, Po - пирротин, Ccp – халькопирит, Ore – сумма основных рудных минералов (Py+Po+Ccp). (По Mineral Abbreviations, 2007)

Наличие хлорита (12.7 мас. %) обуславливается воздействием на пробу гидротермальных растворов и следующим за ним метасоматическим замещением им темноцветных минералов (рис. 18).

#### Гранулометрический состав руды

В процессе изучения керна получен дробленный материал посредством электроимпульсной дезинтеграции образцов керна. Для получения информации о гранулометрическом составе проведен мокрый рассев дробленной пробы первичной руды.

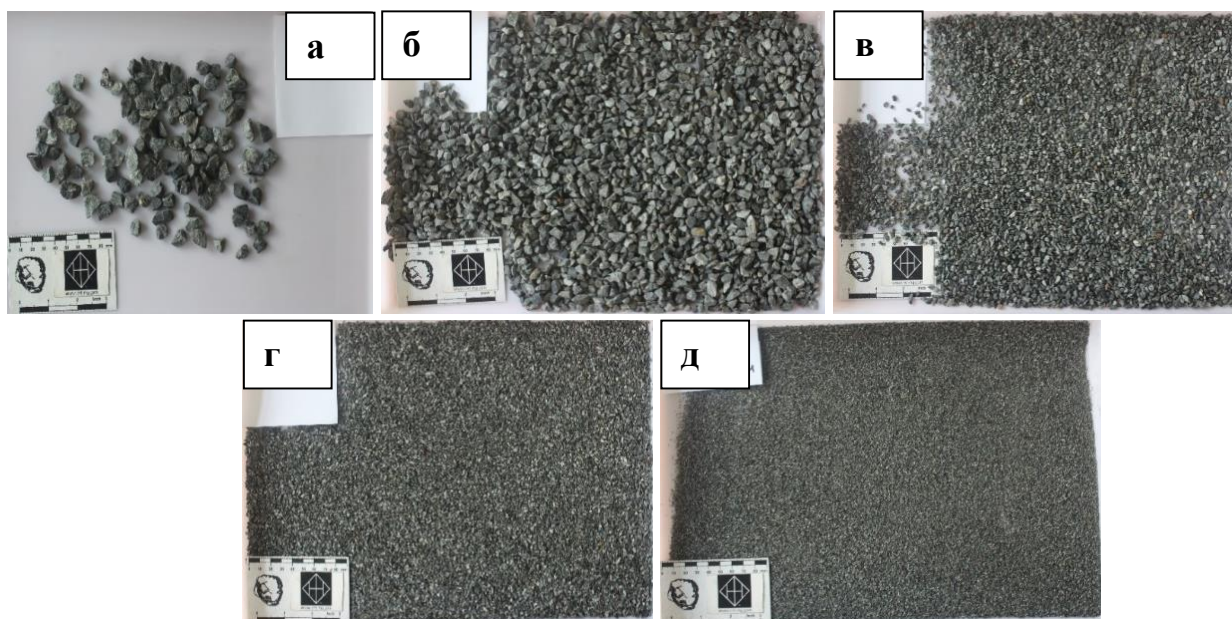


Рис. 19. Продукты мокрого ссева. Проба №2 (первичная сульфидная руда), классы крупности, мм: а - +10; б - -10+5; в - -5+2.5; г - -2.5+1; д - -1+0.5.

Характеристика по крупности зёрен, изученных первичных сульфидных руд приведены в таблице 4 и на рис. 19-20. Распределение материала в изученных пробах неравномерно. В материале первичных руд прослеживается следующий характер распределения: преобладают крупные фракции (~35 % в классе -10+5 мм, и ~17 % в классе -2.5+1 мм соответственно). Также значительный вклад в общее распределение вносит размерная фракция -0.045+0.010 мм. Это обусловлено раскрытием рудных минералов – сульфидов.

Таблица 4

Гранулометрический состав всех изученных продуктов

Класс крупности, мм	Первичная руда	
	Дроблёная	
	%	г
+10	3.82	144.1
-10+5	35.39	1336.7
-5+2.5	12.48	471.4
-2.5+1	16.68	630.0
-1+0.5	9.02	340.6
-0.5+0.315	3.08	116.4
-0.315+0.2	3.67	138.7
-0.2+0.125	2.83	106.9
-0.125+0.071	2.55	96.4
0.071+0.045	2.34	88.6
-0.045+0.010	5.50	207.7
-0.010	2.63	99.5
<b>Сумма:</b>	<b>100.0</b>	<b>3777.0</b>

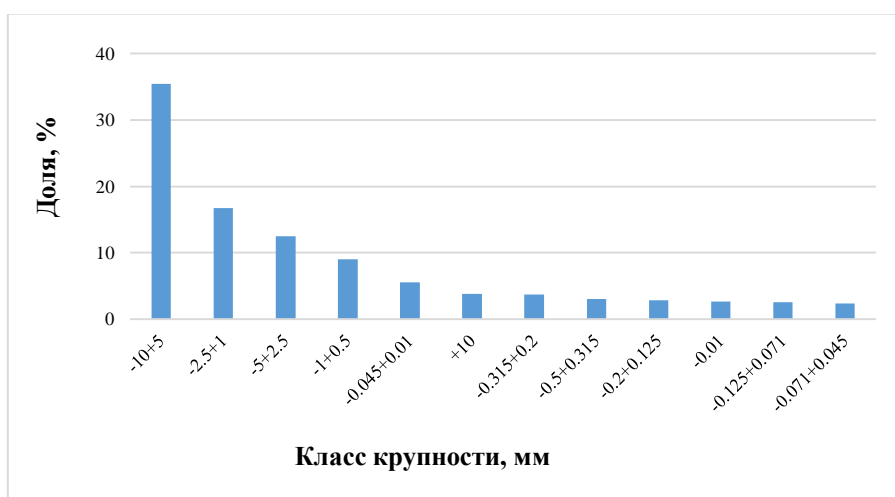


Рис 20. Гистограмма распределения материала в пробе первичной руды по классам крупности

В дроблёном материале первичных руд преобладает крупная фракция (~35 % в классе крупности -10+5 мм), что свидетельствует об относительной устойчивости к электроимпульсной дезинтеграции.

### *Петрографическая характеристика вмещающих пород*

По результатам исследований в отражённом и проходящем свете установлены три главные структурно-минеральные разности: скарн такситовый и скарн гнейсовидный (эндоскарн) и гранат-пироксеновый экзоскарн. Ниже приведены описания разновидностей рудовмещающих пород.

#### *Эндоскарн такситовый*

Структура порфиробластовая, в основной массе размеры зерен менее 0.5 мм, преобладают зерна менее 0.1 мм, вкрапленники достигают 0.8-1 мм, в некоторых случаях до 2 мм. В общем случае структуры пород нематогранобластовая, гломеробластовая – намечается тенденция к кучному расположению полевых шпатов и клинопироксена (рис. 21). Текстура такситовая.

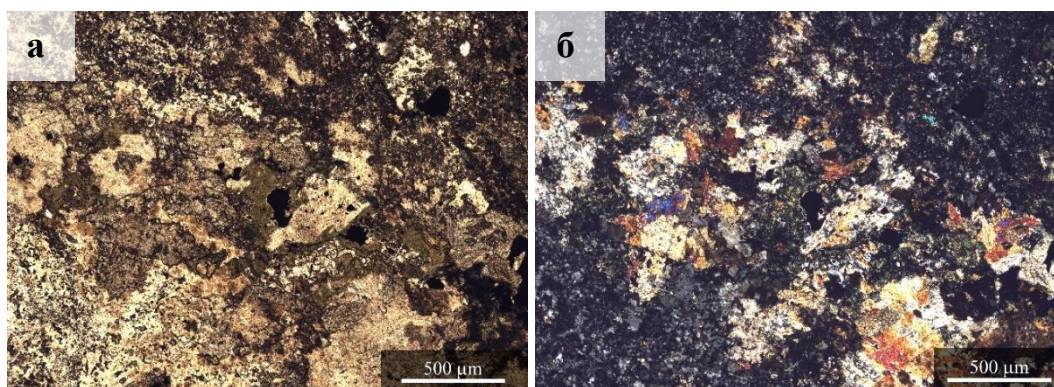


Рис. 21. Кучное расположение зерен полевых шпатов и зерен клинопироксена. а – без анализатора, б – с анализатором.

Минеральный состав: полевые шпаты (70-75%, размер <0.5 мм), пироксен (15-20%, размер 0.1-0.15 мм), кварц (3-5%, размер 0.08-0.12 мм), кальцит (3-5 %, размер 0.1-0.8 мм).

Рудные минералы представлены изотропными кристаллами сульфидов, размерами 0.05-0.35 мм, в основной массе их концентрация менее 1%, в основном приурочены к прожилкам, где сцементированы хлоритом амфиболитизированным клинопироксеном и пелитизированными полевыми шпатами (рис. 22).

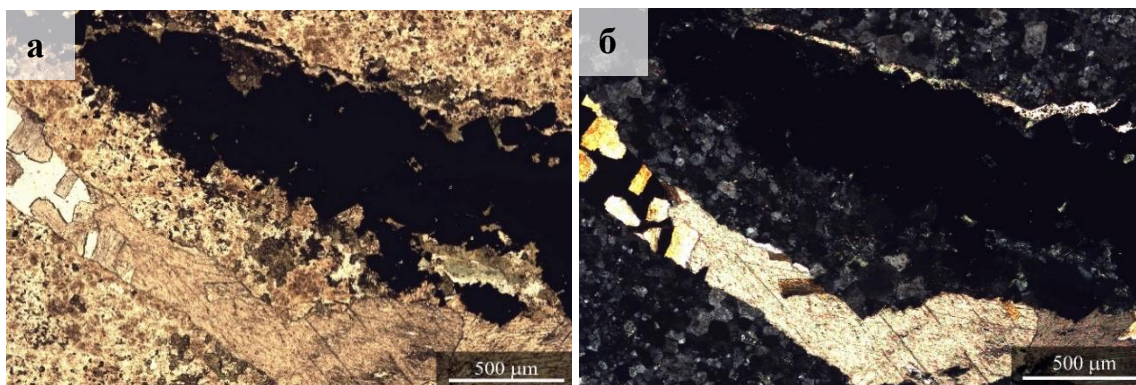


Рис. 22. Участок прожилка с рудным минералом и кальцитом. а – без анализатора, б – с анализатором.



Рис. 23. Прожилек с рудными и подверженными вторичным изменениям вмещающие минералы в образце керна (поле зрения = 4 см).

В породе широко развиты вторичные изменения минералов (рис. 23). Полевые шпаты подвержены серицитизации и пелитизации. Для клинопироксена характерна амфиболитизация (по зернам частично развивается актинолит) и хлоритизация (рис. 24). Также наблюдается образование эпидота, который предположительно замещает плагиоклаз (рис. 25). Иногда вторичные изменения очень сильно изменяют первичные минералы, что затрудняет их диагностику.

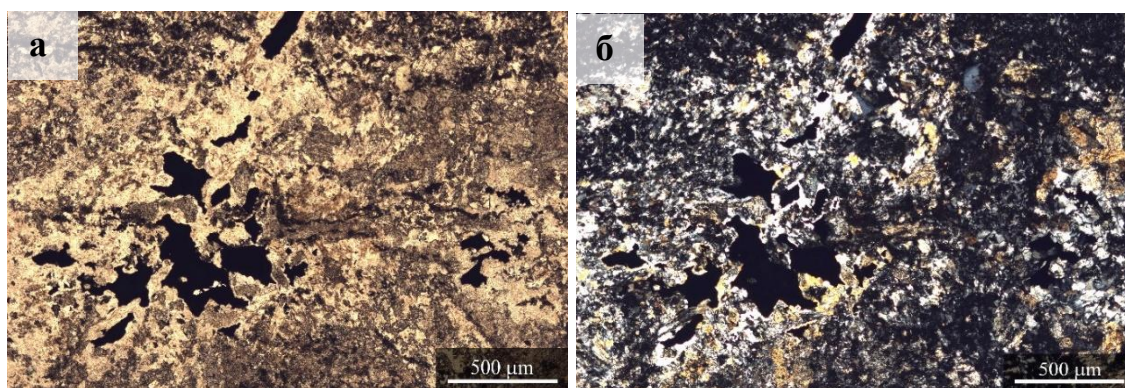


Рис. 24. Клинопироксен практически полностью заместился хлоритом и актинолитом до волокнистых зерен. а – без анализатора, б – с анализатором

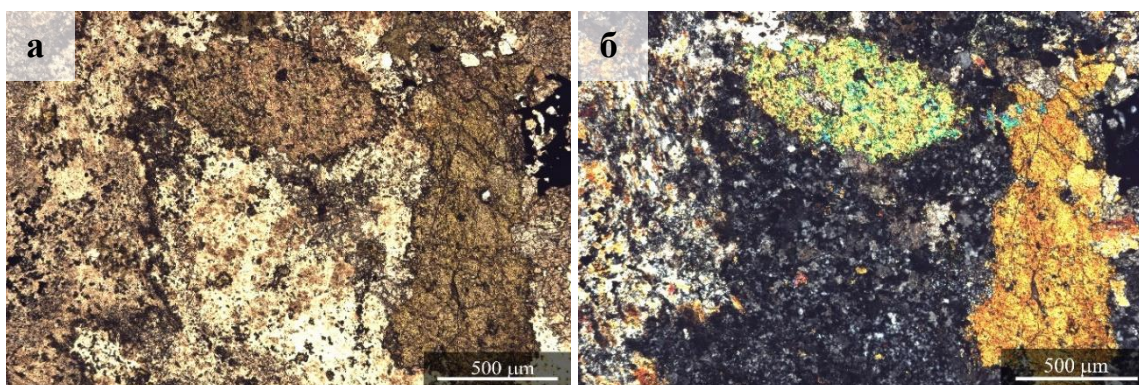


Рис. 25. Замещение эпидотом плагиоклаза. а – без анализатора, б – с анализатором

*Эндоскарн гнейсовидный*

Структура микро-мелко-среднезернистая с размерами зерен 0.2-3.0 мм. Преобладают зерна размером 0.5-1.5 мм. Нематогранобластовая, гломеробластовая структура. Текстура

гнейсовидная, обусловлена субпараллельным расположением удлиненных фемических минералов на фоне салических, участками текстура такситовая (рис. 26).

Минеральный состав: полевые шпаты (70%, размеры 0.25-3 мм), пироксен (25%, волокнистое строение), кальцит (5%, 0.6-1 мм).

*Рудные минералы:* кристаллы сульфидов (менее 1%) размером 0.08-0.25 мм.

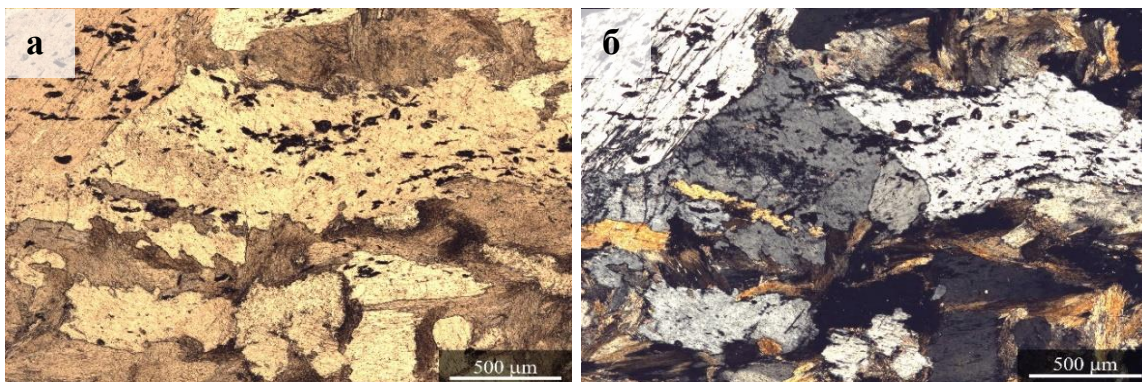


Рис. 26. Гнейсовидная текстура, обусловлена субпараллельным расположением удлиненных фемических минералов на фоне салических, участками текстура такситовая. а – без анализатора, б – с анализатором

#### *Гранат-пироксеновый экзокскари*

В изученных шлифах наблюдаются две разновидности метасоматических пород, относящиеся к известковым скарнам. Первая состоит из крупных зёрен граната, заключённых в матрицу из кальцита (рис. 27). в кальците также встречаются гнезда мелких столбчатых кристаллов пироксенов и единичные зерна пелитизированного ортоклаза. Анализ взаимоотношений минералов показывает, что гранат идиоморфен ко всем минералам, а пироксен – только к ортоклазу и кальциту. Вторая разновидность представлена микрозернистой ортоклаз-кальцит-пироксеновой массой с порфиробластами рудных минералов и единичными зёрнами кварца. Кварц располагается в интерстициях полевошпатовых зёрен.

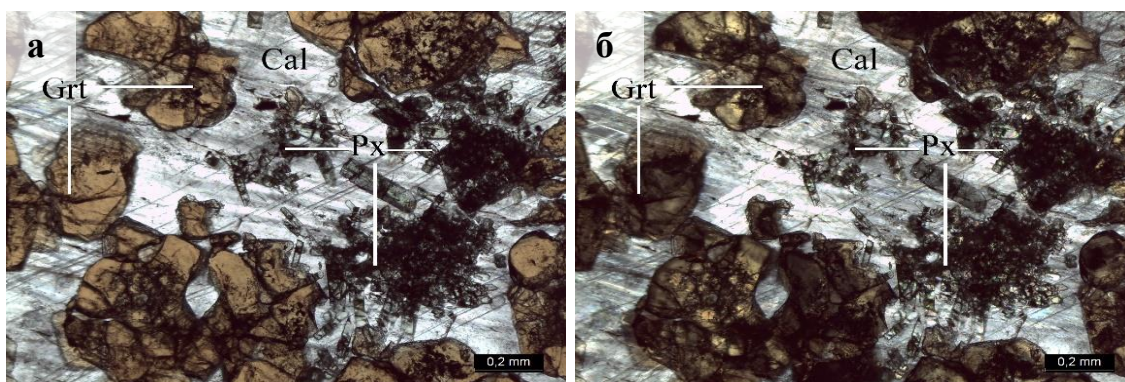


Рис. 27. Идиобластовая структура метасоматической породы (разновидность-I), где Grt – гранат, Px – пироксен, Cal – кальцит. а – без анализатора, б – с анализатором.



Гранаты слагают гнезда разнообразных форм и размеров, микроскопически диагностируются изометричные идиоморфные зёрна, коричневатого-оранжевого цвета с размерами от 0.2 до 1.0 мм. В наиболее крупных зёрнах наблюдаются зональное строение и мелкая вкрапленность рудных минералов в центральной части.

Кальцит образует ксеноморфные зёрна. Размер варьирует от 0.6 до примерно 6.0 мм. Местами, вдоль трещин спайности наиболее крупных зёрен кальцита располагается рудный минерал.

Пироксены представлены удлиненными зёрнами. Размер зёрен сильно варьирует - от 0.05x0.02 до 0.5x0.2 мм. Пироксены наблюдаются в виде скоплений размером до 3-5 мм, в центральной части которых иногда встречаются ксеноморфные зёрна кварца.

Ортоклаз образует удлиненные зерна размерами от 0.4 до 2x1.1 мм. С уменьшением размера кристаллов повышается их изометричность. Часто наблюдается интенсивная пелитизация (рис. 28).

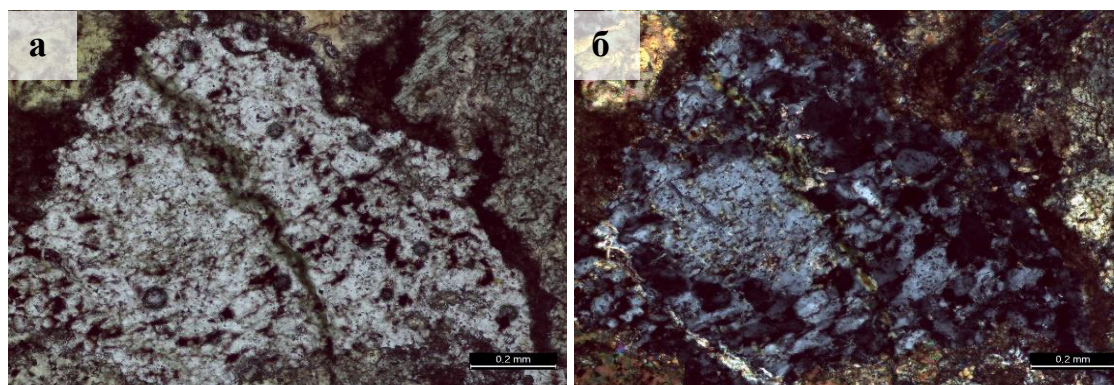


Рис. 28. Пелитизированное зерно полевого шпата (ортоклаза), А – без анализатора, Б – с анализатором

Рудные минералы распределены в породе неравномерно, встречаются, как отдельные их обособления, так и включения в центральной части граната, а также в трещинах спайности особенно крупных кристаллов кальцита. Их размеры зёрен варьируют от 0.1 до 0.8 мм.

Кварц образует ксеноморфные зёрна размером около 0.4 мм, наиболее распространённые в мелкозернистой разновидности метасоматитов.

#### *Химический состав породообразующих минералов известковых скарнов*

Для уточнения химических составов породообразующих минералов, их типизации и классификации контактово-метасоматических образований проводились электронно-микроскопические исследования. Проанализировано 61 зерно пироксенов и 41 зерно минералов группы граната (табл. 5). Для типизации гранатов сделан пересчет на миалы (по Булах и др., 2014)

Средние химические составы гранатов Каштауской рудоносной площади

№	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Summary
1	35.38	31.82	27.88	4.21	0.78	0.62	100.70
2	35.19	32.25	25.98	4.84	2.04	0.89	101.19
3	35.23	32.81	21.43	7.39	1.28	0.79	98.94
4	34.79	30.25	28.32	4.08	0.83	1.59	99.86
5	35.26	31.90	26.54	4.27	0.00	0.74	98.70
6	34.85	32.81	29.01	2.10	0.00	0.61	99.37
7	35.06	31.78	25.95	4.74	0.77	1.03	99.33
8	34.79	31.75	28.39	2.93	0.00	0.58	98.44
9	35.28	30.85	26.61	5.52	0.85	0.96	100.06
10	34.57	31.66	26.74	4.46	2.05	0.52	100.00

По результатам локальных химических анализов минералов группы граната рассчитаны их миналы (рис. 29-б), а для пироксенов проведена классификация на основе соотношений содержаний Ca, Mg, Fe (рис. 29-а).

Помимо повышенных содержаний Mn и Ti определяются следовые концентрации рудных компонентов (Cu, As, Ni, Co, Zn до 0.1 мас. %), что связывается с наложением гидротермальных процессов на скарновые зоны (Коробейников, 1976). Для изученных минералов группы граната андрадит-гроссулярового ряда характерно преобладание андрадитового минала (64-95 мас. %). Многие исследователи (Коробейников, 1976; Theodore, 1991; Ray, 2013) отмечают, железо-кальциевые гранаты характерны для железорудных скарновых месторождений, в которых нередко наблюдается наложенное благороднометалльное оруденение.

Среди пироксенов преобладают железистые разновидности диопсид-геденбергитового ряда моноклинных пироксенов (рис 29-а).

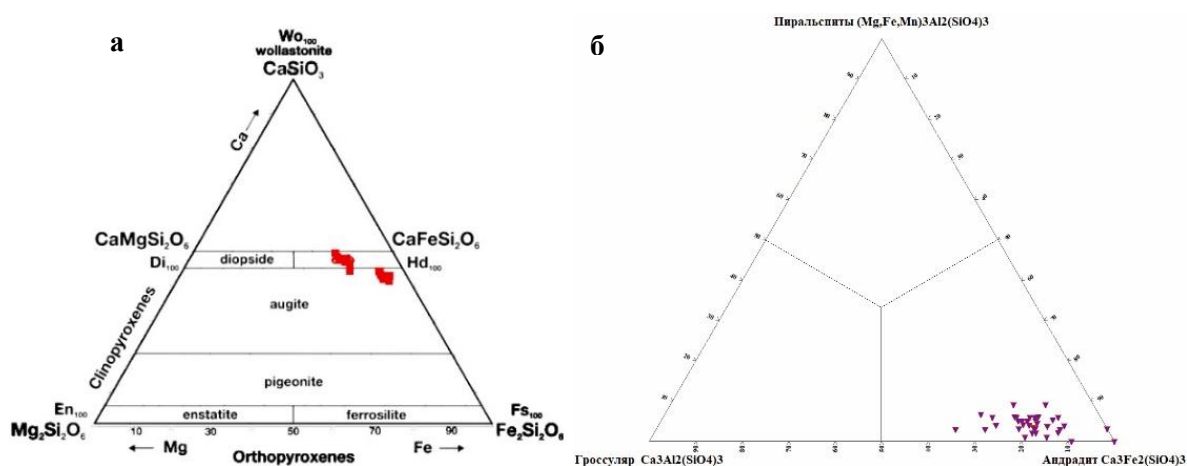


Рис. 29. Вариации составов породообразующих минералов и их классификация. а – пироксен (Morimoto., 1989), б – гранат

Таким образом, проведенное исследование по минералогическому и петрографическому описанию пород, отобранных на железо-скарновом объекте, показывает,

что контактово-метасоматические породы относятся к эндоскарнам и гранат-пироксеновым экзоскарнам.

#### *Минераграфическое описание первичных руд*

При изучении шлифов на рудном микроскопе отмечены самые разнообразные микротекстуры взаимоотношений рудных минералов. Это связано с разными генерациями рудных минералов. Микротекстуры практически повторяются с теми макротекстурами руд, изложенных выше. Пирит характеризуется различными текстурно-структурными особенностями. Наиболее часто он образует массивные агрегаты (рис. 30), прожилковые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные текстуры, нередко встречаются текстуры дробления.

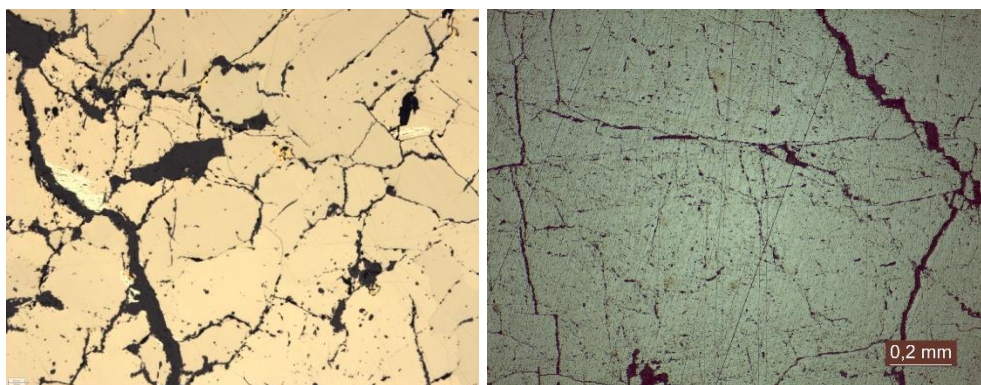


Рис. 30. Микротекстура массивных руд (пирит+пирротин). А- образование пирита на контакте пирротина с прожилком, выполненным нерудным минералом. Б – массивная руда преимущественно пиритового состава.

Часто встречаются зоны локального проявления дислокационных деформаций. К таким процессам приурочен катаклазированный пирит (рис. 31).

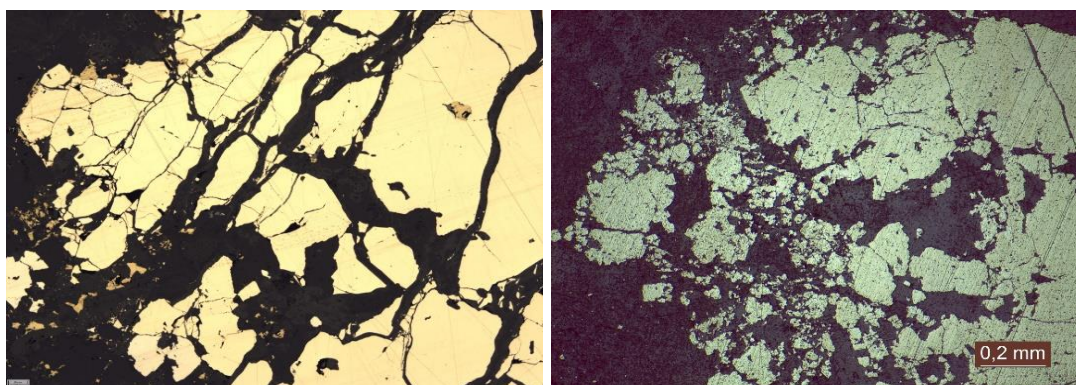


Рис. 31. Катаклазированный пирит в гранат-пироксеновой матрице

Пирит обнаруживает весьма высокую склонность к идиоморфизму зерен. Размер зерен варьирует от 0.1 до 1 мм. Идиоморфные, эвгдральные зерна пирита локализуются внутри пиротиновой матрицы (рис. 32).

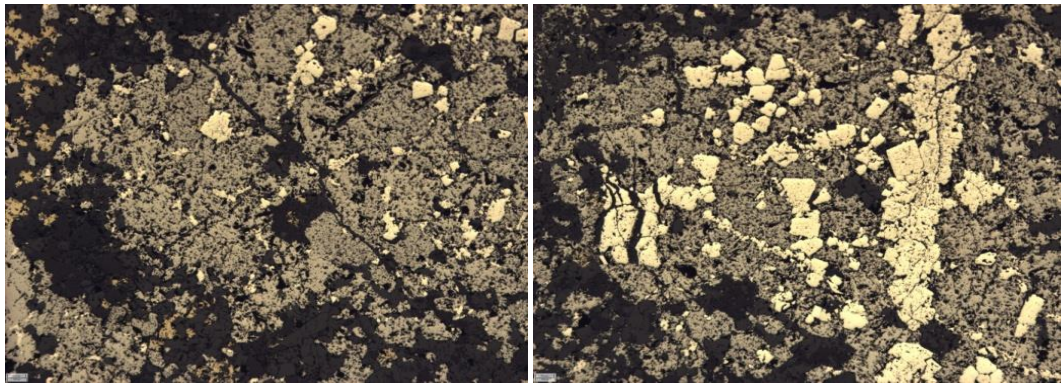


Рис. 32. Вкрапленники и прожилки пирита внутри пирротиновой матрицы (массивной и густовкрапленной)

Пирит часто образует гнезда, размером более 1 мм в скарновой матрице. При этом отмечается часто корродированная текстура (рис. 33)

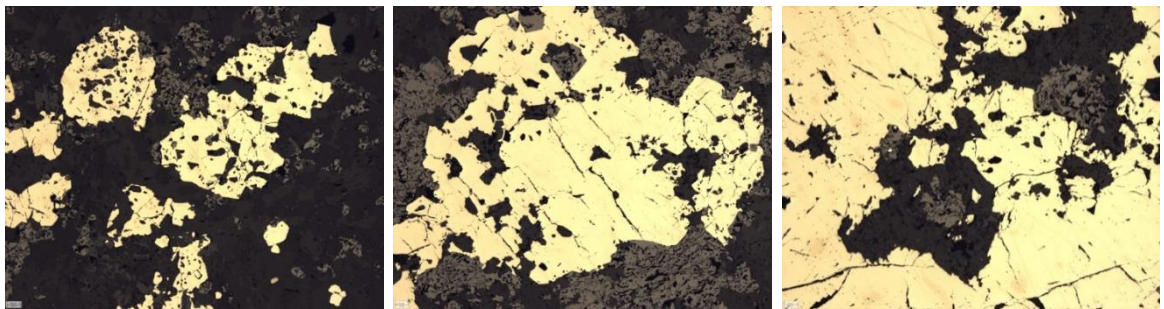


Рис. 33. Гнезда пирита (субизометричной формы) в скарновой матрице

Нередко наблюдается частичное замещение агрегатов пирротина пиритом. Вероятно, это связано с наложением поздних гидротермальных раствором на уже сформировавшийся пирротин или в случае увеличения концентрации серы в ходе процесса образования. Отмечается замещение прожилково-вкрапленной текстуры пирротина пиритом и участками, где пирротин замещается халькопиритом (рис. 34).

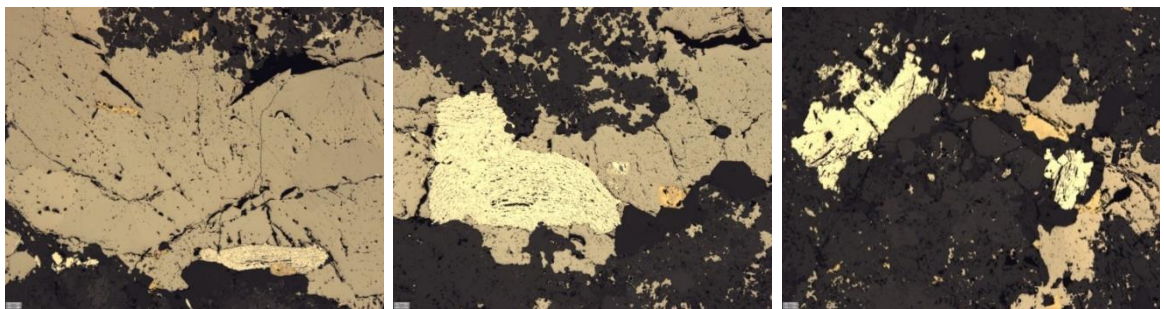


Рис. 34. Прожилково-вкрапленная микротекстура руд. Замещение пирротина пиритом и халькопиритом

Местами пирит и халькопирит образуют рассеянную вкрапленность, как два самостоятельных минерала (рис. 35 - а), так и в сростках друг с другом (рис. 35 - б)

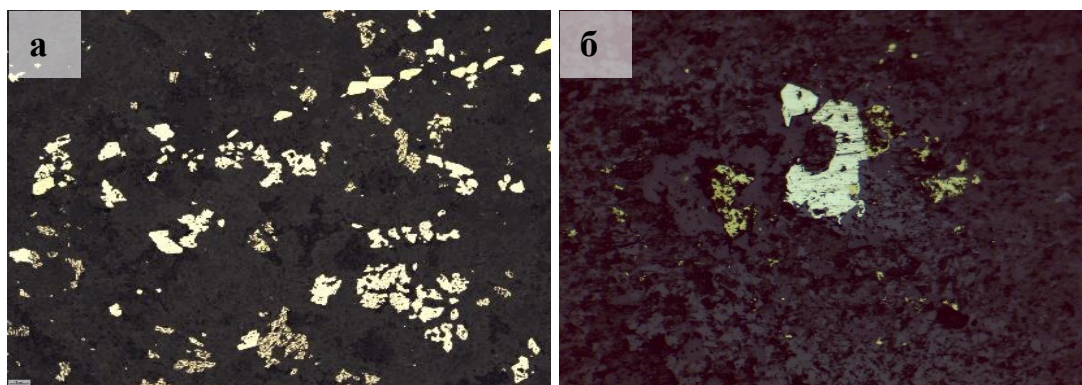


Рис. 35. Рассеянная вкрапленность халькопирита (а) и сросток халькопирита с пиритом в скарновой матрице (б).

Сопоставление результатов макроскопического и микроскопического изучения демонстрирует наложенный характер процессов рудообразования. Текстуры руд имеют жильный, прожилковый, неравномерно-вкрапленный и прожилково-вкрапленный характер. Рудные минералы, в общем случае, ассоциируют с зонами вторичного изменения пород в виде пелитизации полевых шпатов, амфиболитизации клинопироксенов, здесь же наблюдаются проявления хлорита и эпидота. Все это служит цементирующим веществом рудных минералов.

### 3.2. Окисленная руда

#### Минеральный состав руды

Материал пробы окисленных золотосодержащих руд представлен продуктами выветривания и окисления первичных руд: железистыми охрами, глинистыми минералами и остаточными агрегатами полевых шпатов и амфиболов с вкраплениями гранатов группы андрадита. Методом рентгенофазового анализа определен валовый минеральный состав исходных проб окисленных руд (табл. 6).

Таблица 6

Результаты количественного фазового рентгеновского анализа исходных проб окисленных руд, мас. %

Название минералов	Формула	Содержание, мас. %
Плагиоклазы	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	24.0
Гётит	$\text{FeO(OH)}$	20.5
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	18.9
Кварц	$\text{SiO}_2$	9.7
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	8.8
Хлорит	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	8.2
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O(OH)}$	3.4
Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})(\text{OH})_2$	3.2
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.9
Магнетит	$\text{FeFe}_2\text{O}_4$	1.4
<b>Сумма:</b>		<b>100.0</b>

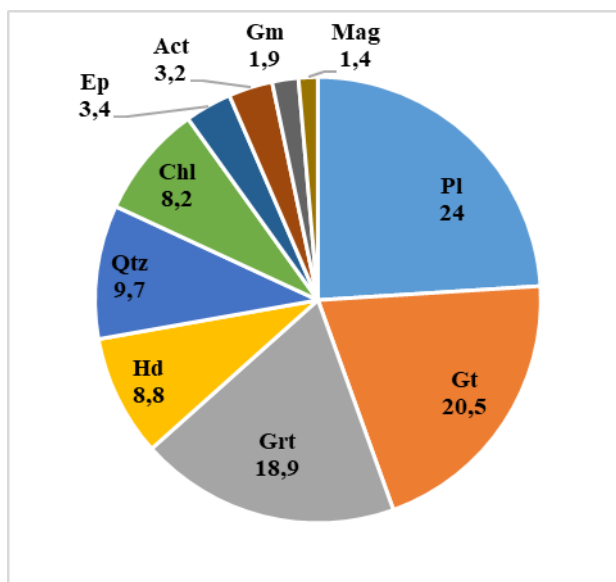


Рис. 36. Минеральный состав усредненной пробы окисленной руды. Pl - плагиоклазы, Gt - гётит, Grt - гранат, Hd - геденбергит, Qtz - кварц, Chl - хлорит, Ep - эпидот, Act - актинолит, Gm - гематит, Mag – магнетит. (По Mineral Abbreviations, 2007).

По результатам рентгенофазового анализа материал окисленных и первичных руд различается главным образом по содержанию оксидов и гидроксидов (гётит: 1.1 мас. % в первичной и 20.5 мас. % в окисленной руде). Высокие содержания гетита (рис. 36) связано с

окислением сульфидов в приповерхностных условиях: по результатам РФА содержания сульфидов не отмечены. Сокращение содержания кальцита в окисленной пробе связано с его растворением и миграцией в приповерхностных условиях (7.6→0.0 мас. % соответственно).

#### Гранулометрический состав проб

Характеристика по крупности зёрен изученных окисленных руд приведена в таблице 7 и на рис. 37. Распределение материала в изученных пробах неравномерно. В материале окисленных руд прослеживается бимодальный характер распределения: преобладают крупные и самая тонкая фракции (~15 % в классе -2.5+1 мм, и ~19 % в классе <0.01 мм соответственно). Значительная доля шламовой составляющей (<0.01 мм) здесь указывает на широкое развитие процессов выветривания.

Таблица 7

Гранулометрический состав всех изученных продуктов

Класс крупности, мм	Окисленная руда	
	Исходная	
	%	г
+10	7.90	605.7
-10+5	8.39	643.0
-5+2.5	7.64	585.3
-2.5+1	15.45	1183.9
-1+0.5	9.02	691.3
-0.5+0.315	3.58	274.1
-0.315+0.2	4.72	361.4
-0.2+0.125	4.34	332.5
-0.125+0.071	4.08	312.4
0.071+0.045	4.90	375.7
-0.045+0.010	10.37	794.6
-0.010	19.62	1503.6
<b>Сумма:</b>	<b>100.0</b>	<b>7663.5</b>



Рис. 37. Гистограмма распределения материала в пробе окисленной руды по классам крупности

В пробе окисленных руд фиксируется значительная доля «глинистой» составляющей (<0.01 мм). С одной стороны, это может быть связано развитием глинистых минералов и минералов гидрослюд (минералов группы хлорита, каолинита), с другой – обилием легкошламуемых оксидов и гидроксидов железа (гематит, гетит, гидрогетит и др.).

#### *Оптические исследования*

Материал пробы окисленных руд представлен агломератами глинистых минералов, оксидов и гидроксидов железа и реликтовых агрегатов породообразующих минералов первичных руд – выветрелых плагиоклазов, гранатов и пироксенов, которые обнаруживаются при хорошей промывке материала и классификации по размерам (рис. 38-а), соотношения и характер распределения частиц почти одинаков в классах крупности >0.5 мм (рис. 38 – б-е).



Рис. 38. Исходная проба и продукты мокрого отсева (окисленная руда). а – исходная проба, классы крупности, мм: б - +10; в - -10+5; г - -5+2.5; д - -2.5+1; е - -1+0.5.

В классах крупности >0.5 мм обнаружены многочисленные зерна, представленные оксидами железа, в продуктах ручного отбора диагностированы гематит, гетит и магнетит.

Таким образом, при промывке и мокром отсева материала, и в первичных сульфидных (после ЭИД), и в окисленных рудах преобладают крупные размерные классы (>0.5 мм). Для первичных руд повышенная доля фр. -0.045+0.010 мм – в этом классе крупности «вскрываются» многочисленные разнообразные сульфиды. В окисленной же руде значимый вклад вносит «шламовая» составляющая – фр. -0.010 мм. Этот размерный класс состоит из оксидов и гидроксидов железа, минералов группы гидрослюд и глинистых минералов.



### 3.3. Хвосты флотационного обогащения

#### Минеральный состав хвостов флотации первичной руды

Материал хвостов флотационного обогащения представлен нерудными минералами: плагиоклазами, пироксенами и минералами группы граната, отмечены значительные количества сульфидов. (рис. 39). Методом рентгенофазового анализа определен валовый минеральный состав исходных проб хвостов флотации первичных и окисленных руд (табл. 8).

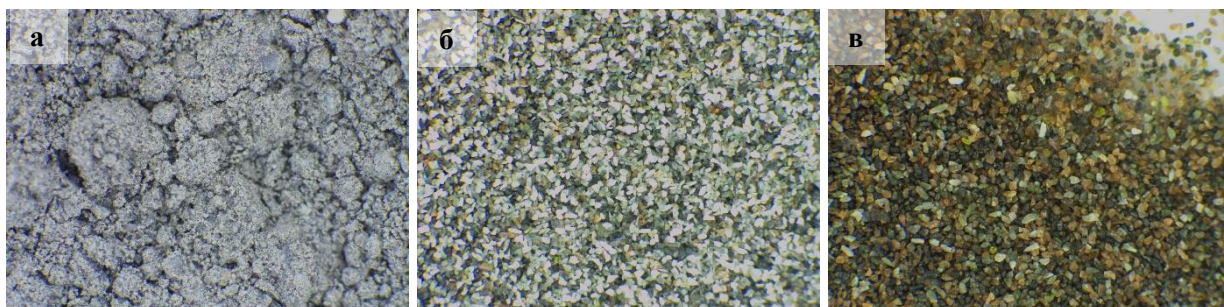


Рис. 39. Хвосты флотационного обогащения первичных сульфидных руд Каштауской рудоносной площади. а – исходная проба хвостов флотации первичной руды, б – «легкая» фракция гидросепарации (HS) «хвостов» первичной руды, фр.  $-0.125+0.071$  мм, в – «тяжелая» фракция (HS) хвостов флотации первичной руды, фр.  $-0.125+0.071$  мм.

Таблица 8

Результаты количественного фазового рентгеновского анализа хвостов флотации первичной сульфидной руды, мас. %

Название минерала	Формула	Содержание, мас. %
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	23.7
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	13.0
Плагиоклазы	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	12.3
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	11.8
Хлорит	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	9.3
Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})(\text{OH})_2$	6.6
Пирротин	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	5.4
Кальцит	$\text{CaCO}_3$	3.9
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	3.4
Кварц	$\text{SiO}_2$	3.0
Гётит	$\text{FeO}(\text{OH})$	2.3
Магнетит	$\text{FeFe}_2\text{O}_4$	2.1
Пирит	$\text{FeS}_2$	1.9
Апатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl/F/OH})$	1.6
<b>Сумма:</b>		<b>100.0</b>

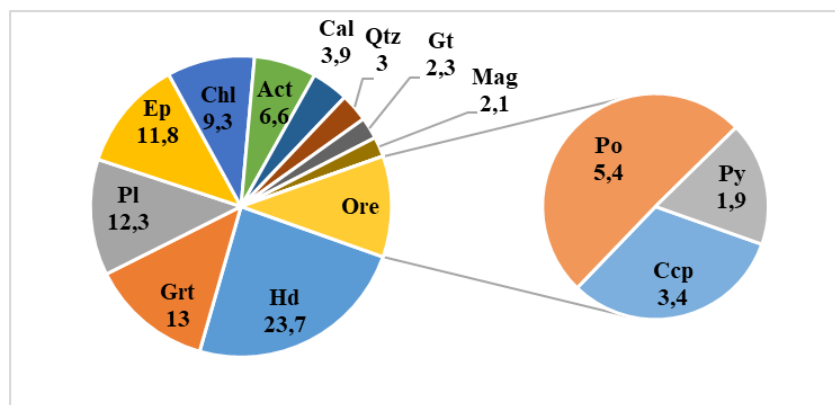


Рис. 40. Минеральный состав хвостов обогащения первичной сульфидной руды. Pl - плагиоклазы, Gt - гётит, Grt - гранат, Hd - геденбергит, Qtz - кварц, Chl - хлорит, Ep - эпидот, Act - актинолит, Gm - гематит, Mag – магнетит, Py - пирит, Po - пирротин, Ccp – халькопирит. (По Mineral Abbreviations, 2007).

По результатам рентгенофазового анализа материал хвостов флотации первичных руд характеризуется схожестью минерального состава с первичной сульфидной рудой (рис. 40). Об этом свидетельствуют высокие содержания порообразующих минералов (граната, пироксена, плагиоклаза и эпидота). Высокие содержания сульфидов указывают на то, что флотационное обогащение оказалось неэффективно: большое количество продуктивных сульфидов (пирротин, халькопирит и пирит) осталась в хвостах флотационного обогащения. Стоит отметить, что частиц самородного золота отмечено не было.

#### Гранулометрический состав хвостов флотации первичной руды

Характеристика по крупности зёрен изученных хвостов флотации первичных руд приведена в таблице 9 и на рис 41. Распределение материала в изученных пробах неравномерно. В материале «хвостов» первичных руд прослеживается следующий характер распределения: преобладают крупные и самые тонкие фракции (~19 % в классе -0.315+0.2 мм, и ~43 % суммарно в классах -0.045+0.010 и <0.010 мм соответственно).

Таблица 9

Гранулометрический состав хвостов флотации первичной руды

Класс крупности, мм	Хвосты флотации первичной руды	
	%	г
+0.5	0.6	3.09
-0.5+0.315	4.0	20.22
-0.315+0.2	18.6	92.95
-0.2+0.125	14.5	72.45
-0.125+0.071	9.4	46.76
0.071+0.045	9.4	47.04
-0.045+0.010	23.2	115.84
-0.010	20.3	101.66
<b>Сумма:</b>	<b>100.0</b>	<b>500.0</b>

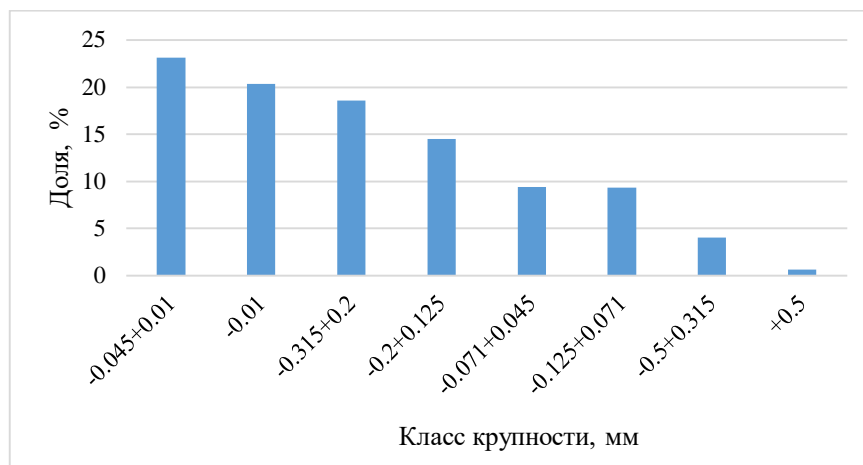


Рис. 41. Гистограмма распределения материала в пробе хвостов флотации первичной руды по классам крупности

В пробе фиксируется значительная доля «шламовой» составляющей (<0.01 мм) и тонкого класса (-0.045+0.010 мм) – 20 %. Это связано с вскрытием мелких сульфидов при дроблении первичной руды и вследствие неэффективного флотационного обогащения (продуктивные сульфиды остались в «хвостах»).

#### *Минеральный состав хвостов флотации окисленной руды*

Материал хвостов флотационного обогащения окисленных руд представлен нерудными минералами (рис. 42): плагиоклазами, пироксенами и минералами группы граната, отмечены значительные количества оксидов и гидроксидов железа: гетита, гематита и магнетита (17.5, 1.8, 0.9 мас. %), а также значительные содержания кварца, устойчивого при выветривании (12.9 мас. %) (рис.). Стоит отметить, что частиц самородного золота отмечено не было.



Рис. 42. Хвосты флотационного обогащения окисленных руд Кауштауской рудоносной площади. А – исходная проба хвостов флотации окисленной руды. Б – «легкая» фракция гидросепарации (HS) «хвостов» флотации окисленной руды, фр. -0.125+0.071 мм. B – «тяжелая фракция» HS хвостов флотации окисленной руды, фр. -0.125+0.071 мм.

Методом рентгенофазового анализа определен валовый минеральный состав исходной пробы хвостов флотации окисленных руд (табл. 10).

Таблица 10

Результаты количественного фазового рентгеновского анализа хвостов флотации первичной сульфидной руды, мас. %

Название минерала	Формула	Хвосты флотации окисленной руды
Гранат	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$	16.5
Плагиоклазы	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	23.4
Геденбергит	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	9.3
Хлорит	$(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	9.8
Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})(\text{OH})_2$	4.8
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	3.1
Кварц	$\text{SiO}_2$	12.9
Магнетит	$\text{FeFe}_2\text{O}_4$	1.8
Гётит	$\text{FeO}(\text{OH})$	17.5
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.9
<b>Сумма:</b>		<b>100.0</b>

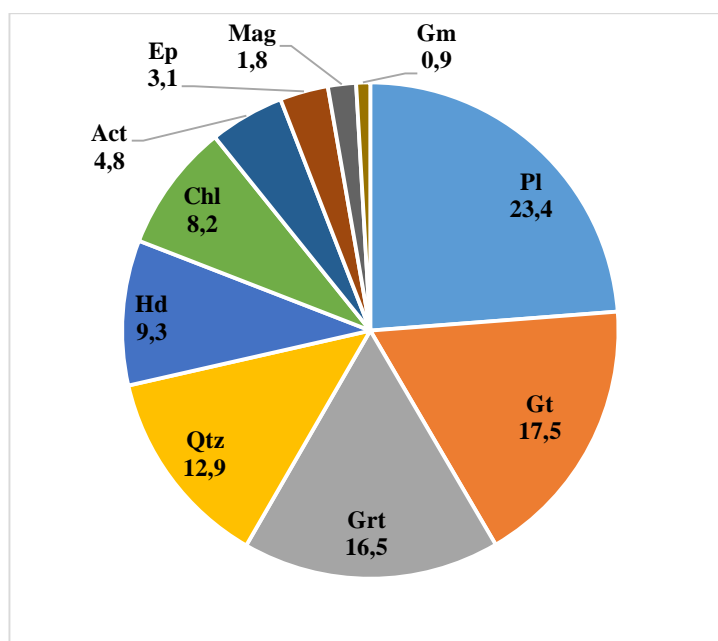


Рис. 43. Минеральный состав усредненной пробы хвостов флотации окисленной руды. Pl - плагиоклазы, Gt - гётит, Grt - гранат, Hd - геденбергит, Qtz - кварц, Chl - хлорит, Ep - эпидот, Act - актинолит, Gm - гематит, Mag – магнетит. (По Mineral Abbreviations, 2007).

По результатам рентгенофазового анализа материал хвостов флотации окисленных руд характеризуется схожестью минерального состава с окисленной рудой. Об этом свидетельствуют высокие содержания породообразующих минералов (рис. 43), устойчивых в приповерхностных условиях: плагиоклаз, гранат, кварц (23.4, 16.5, 12.9 мас. % соответственно).

### Гранулометрический состав хвостов флотации окисленной руды

Характеристика по крупности зёрен изученных хвостов флотации окисленных руд приведена в таблице 11 и на рис 44. Распределение материала в изученных пробах неравномерно. В материале окисленных руд прослеживается бимодальный характер распределения: преобладают крупные и самая тонкая фракции (~14 % в классе -0.315+0.2 мм, и ~27 % в классе <0.01 мм соответственно).

Таблица 11  
Гранулометрический состав хвостов флотации окисленной руды

Класс крупности, мм	Хвосты флотации первичной руды	
	%	г
+0.5	7.5	134.72
-0.5+0.315	9.8	88.42
-0.315+0.2	14.2	71.23
-0.2+0.125	7.9	48.93
-0.125+0.071	8.1	40.72
0.071+0.045	7.8	39.64
-0.045+0.010	17.7	38.87
-0.010	26.9	37.47
<b>Сумма:</b>	<b>100.0</b>	<b>500.0</b>

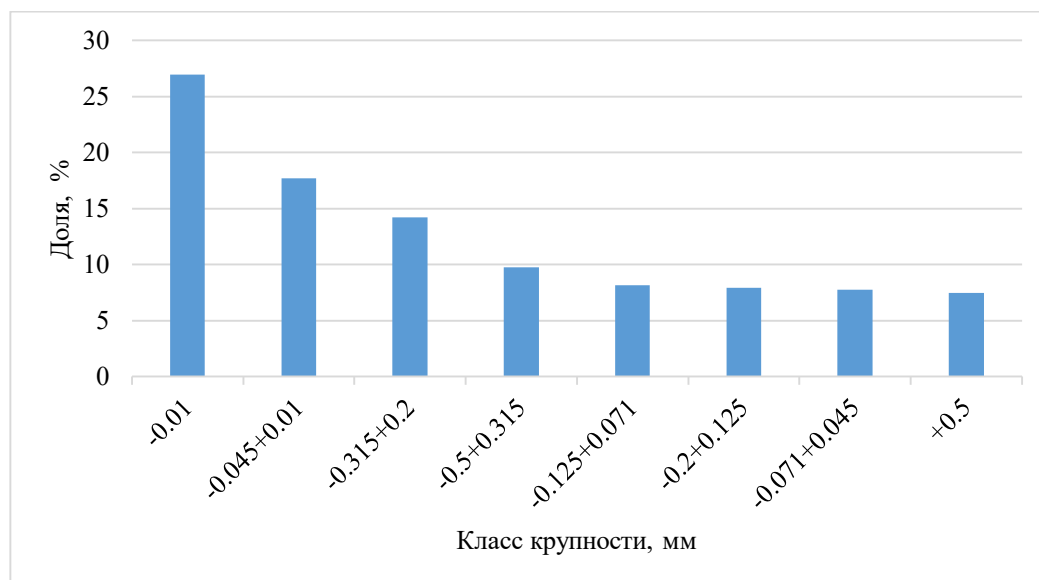


Рис. 44. Гистограмма распределения материала в пробе хвостов флотации окисленной руды по классам крупности

В пробе хвостов флотации окисленных руд фиксируется значительная доля «глинистой» составляющей (<0.01 мм). Такие высокие значения шламовой составляющей (<0.01 мм) дублирует положение о процессах выветривания в окисленных рудах.

Таким образом, при исследовании минерального и гранулометрического состав хвостов флотационного обогащения первичных сульфидных и окисленных руд выявлена схожесть распределения минерального состава для каждого из типов руд. С точки зрения распределения классов крупности: в «хвостах» преобладают <0.045 мм. Это обуславливается наличием сульфидов в «хвостах» первичных руд и оксидов, гидроксидов железа в «хвостах» окисленных руд.

## 4. ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

### 4.1 Геохимические особенности руд

Изучение закономерностей распределения химических элементов необходимо начать с сравнения содержаний в исследуемых породах с понятием «кларк». Под кларком понимается среднее содержание элементов в земной коре. В определении среднего состава земной коры значимый вклад в разное время внесли Ф.В. Кларк, А.Е. Ферсман, В.М. Гольдшмидт, А.П. Виноградов и др.

Известно, что распространенность химических элементов весьма различна и в отдельных горных породах весьма сильно может отличаться от кларка. Количественно это отличие выражается понятием «кларк концентрации». Кларк концентрации (КК) – отношение весового содержания данного элемента в природном объекте (горной породе) к кларку в земной коре.

Элементный состав исследуемых пород сопоставляется в графике геохимических спектров (рис. 44), которые являются графическим отражением рядов КК элементов.

Анализ геохимических спектров благородных металлов и минералов-спутников (рис. 45) демонстрирует обогащение состава Каштауских руд. Кларк концентрации благородных металлов (Au, Ag, Pd) превышает значения в десятки (для Ag и Pd), в сотни раз (Au) кларковые значения (для земной коры). Концентрация полиметаллической ассоциации: медь, цинк, свинец, кобальт и никель – незначительна. Да, она превышает кларковые значения в несколько раз, но не является промышленно значимой.

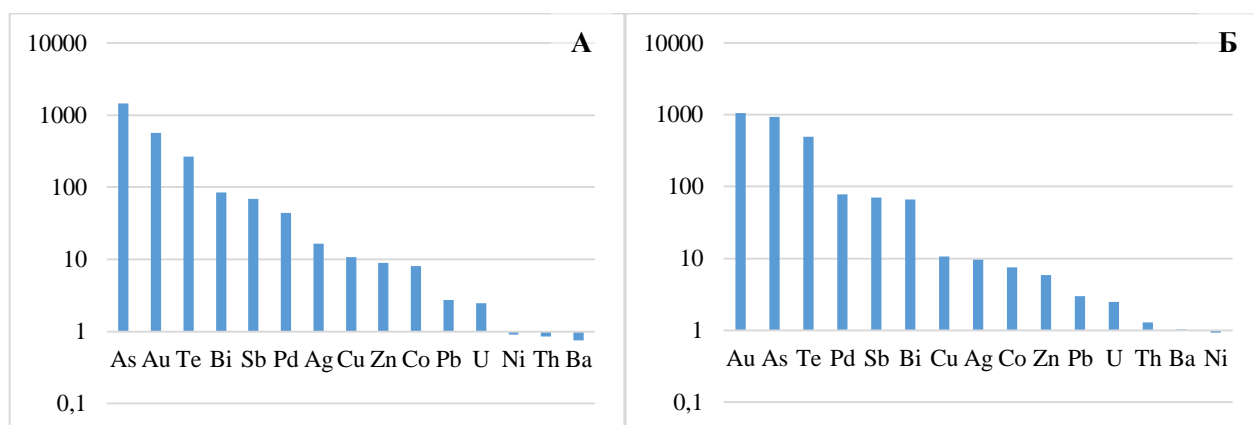


Рис. 45. Геохимические спектры благородных металлов и элементов-спутников (нормировано на кларки в земной коре, по Складову, 2001). А – первичная сульфидная руда, Б – окисленная руда

Определены валовый химический состав материала каждой из исходных проб (табл. 14) и по классам крупности (табл. 14-16). Методом пробирного анализа установлены содержания благородных металлов (Au, Ag, Pd): в первичных рудах среднее содержание составляет – 2.0 г/т (табл. 12), а в окисленных – 3.7 г/т (табл. 13).

Таблица 12

Содержания благородных металлов в пробах первичных руд по результатам пробирного анализа, г/т\*

Элемент	Исх	-1.0+0.5	-0.5+0.315	-0.315+0.2	-0.2+0.125	-0.125+0.071	-0.071+0.045	-0.045+0.01	-0.01	Чувств.
<b>Au</b>	2.0	1.9	1.8	1.9	1.9	2.2	2.1	2.5	1.2	0.005
<b>Ag</b>	1.2	2.4	1.0	0.9	0.9	1.0	1.1	1.4	1.2	0.001
<b>Pd</b>	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.6	0.005

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Таблица 13

Содержания благородных металлов в пробах окисленных руд по результатам пробирного анализа, г/т\*

Элемент	Исх	-1.0+0.5	-0.5+0.315	-0.315+0.2	-0.2+0.125	-0.125+0.071	-0.071+0.045	-0.045+0.01	-0.01	Чувств.
<b>Au</b>	3.7	2.9	4.5	3.7	3.2	3.6	3.2	6.4	2.1	0.005
<b>Ag</b>	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	0.001
<b>Pd</b>	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.005

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Содержание золота в исходных рудах изменяется от ~1-2 г/т в первичной руде, до 3.7 г/т в окисленной, при этом самородное золото «очищается» от примесей серебра при окислении руд. Содержание серебра снижается в окисленных рудах до 0.7 г/т, при 1.2 г/т в первичной руде. Палладий также концентрируется в окисленных рудах (от 0.4 г/т в первичной руде, до 0.7 г/т – в окисленной).

Анализ распределения золота по классам крупности в продуктах дробления первичных руд указывает на преобладание тонкодисперсных его образований: максимальные его содержания обнаружены в классе крупности -0.045+0.010 мм. В окисленной руде при процессах химического выветривания происходит укрупнение частиц золота, что обеспечивает относительно повышенные его концентрации в крупных классах (Au до 4.5 г/т в классе -0.5+0.315 мм), тем не менее максимальные концентрации в окисленных рудах также наблюдаются в самом тонком классе (Au до 6.5 г/т в классе крупности -0.045+0.010 мм).

По химическому составу материал окисленных и первичных руд контрастен как для породообразующих компонентов ( $\text{SiO}_2$ , CaO,  $S_{\text{общ}}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), так и микрокомпонентов (Zn, As, Ba). Снижение содержания кальция обуславливается его высокой растворимостью и высокой миграционной способностью при химическом выветривании (содержание в первичной руде 13.47 мас. %, 4.91 мас. % в окисленной). Сера в основном связана в исследуемых пробах с металлами: Fe, Cu, Zn, Pb в форме сульфидов. При выносе серы в приповерхностных условиях и, соответственно, разложении сульфидов они переходят в карбонаты и оксиды металлов, а, следовательно, возрастает содержание оксидов железа (образуется магнетит, гетит, гидрогетит и др.). Мышьяк представлен в форме сульфоарсенидов железа: их окисление также приводит к образованию оксидов и гидроксидов и выносу мышьяка (снижается концентрация с 0.35 мас. % до 0.12 мас. %). Менее подвижные элементы (Ba) накапливаются в коре выветривания. С этим связана повышенная его концентрация в окисленной руде относительно первичной (Ba 300 г/т и 1000 г/т соответственно).



Зона коры выветривания (зона окисления первичных руд) имеет повышенные содержания благородных металлов: золото, серебро, палладий, относительно первичных руд. Это обусловлено процессами выветривания, при которых происходит вынос многих порообразующих компонентов, что в свою очередь приводит к обогащению коры выветривания «полезными» компонентами, имеющими меньшие миграционные свойства. Уже давно различные исследователи (Lesure, 1971; Петровская, 1973; Смирнов, 1982) часто связывают повышенные концентрации золота в коре выветривания с глубоким развитием процессов химического выветривания коренных пород.

Таблица 14

Содержания петрогенных оксидов в рудах и по классам крупности по результатам РФА, мас. %\*\*

	Элемент / Фракция (мм)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S <sub>общ</sub>	Выход классов в исходной пробе, %*
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
		0.1	0.03	0.1	0.1	0.03	0.1	0.03	0.2	0.03	0.05	0.02	
Первичная руда (Проба №1)	Исходная	41.34	0.75	10.21	20.45	0.60	2.65	13.47	1.32	2.60	0.17	5.42	100
	-1+0.5	39.6	0.76	10.13	16.3	0.44	2.23	13.42	1.20	2.33	0.26	5.96	28.5
	-0.5+0.315	39.29	0.73	9.9	17.18	0.43	2.17	13.02	1.16	2.23	0.24	7.57	9.7
	-0.315+0.2	42.2	0.74	11.08	18.32	0.44	2.68	13.05	1.42	2.30	0.21	9.11	11.6
	-0.2+0.125	41.46	0.667	10.6	19.91	0.44	2.67	12.89	1.35	2.08	0.18	11.56	9.0
	-0.125+0.071	41.45	0.62	10.19	21.45	0.45	2.65	12.85	1.35	1.93	0.15	13.59	8.1
	-0.071+0.045	41.21	0.58	9.88	21.88	0.47	2.75	13.27	1.28	1.86	0.16	13.43	7.4
	-0.045+0.010	40.11	0.68	9.37	22.45	0.49	3.06	14.05	1.19	1.69	0.27	12.87	17.4
	-0.010	42.97	0.84	11.61	18.02	0.48	3.33	14.11	1.44	2.36	0.27	5.73	8.3
Окисленная руда (Проба №2)	Исходная	45.90	0.83	11.84	25.36	0.39	1.40	4.91	1.55	2.39	0.22	0.12	100
	-1+0.5	51.11	0.82	12.27	21.02	0.46	2.02	5.08	1.51	2.70	0.21	0.19	14.9
	-0.5+0.315	50.95	0.80	12.13	21.21	0.49	1.99	5.57	1.49	2.69	0.20	0.27	5.9
	-0.315+0.2	49.36	0.79	11.77	22.31	0.53	1.87	5.33	1.28	2.58	0.19	0.28	7.8
	-0.2+0.125	49.44	0.82	11.71	22.93	0.53	1.75	5.5	1.24	2.57	0.18	0.30	7.2
	-0.125+0.071	48.92	0.81	11.45	23.27	0.51	1.7	5.45	1.11	2.56	0.19	0.30	6.7
	-0.071+0.045	48.47	0.83	11.22	23.45	0.44	1.66	5.63	1.08	2.61	0.21	0.30	8.1
	-0.045+0.010	49.42	1.13	11.66	23.32	0.45	1.83	4.72	1.17	2.26	0.23	0.24	17.1
	-0.010	50.15	0.93	13.27	25.77	0.49	2.6	3.15	0.93	1.83	0.14	0.19	32.4

\*Примечание. Выход классов приведен с условием измельчения до класса -1 мм.

\*\* ЦКП ФГБОУ ВО «ПГНИУ», г. Пермь

Таблица 15

Содержания микрокомпонентов в пробах первичных сульфидных руд по результатам ICP MS, г/т\*

Элемент	Первичная сульфидная руда								Чувствительность
	Исходная	-0.5+0.315	-0.315+0.2	-0.2+0.125	-0.125+0.071	-0.071+0.045	-0.045+0.010	-0.010	
As	2608.2	2168.3	2523.2	3199.5	3701.6	3781.7	4400.9	2174.4	0.1
Bi	16.0	15.9	15.7	17.5	15.9	14.9	16.5	17.4	0.1
Co	187.2	81.9	98.1	128.8	148.8	156.1	151.8	72.3	0.1
Ni	63.1	56.5	67.7	79.0	99.9	93.4	104.5	60.8	0.05
Cu	573.4	457.5	458.0	488.5	516.0	591.3	869.2	742.1	0.05
Pb	35.3	32.7	31.8	34.9	40.0	44.7	46.9	72.4	0.3
Zn	608.6	685.9	723.3	908.0	1059.9	1120.3	1239.8	893.7	0.1
Sb	20.9	18.5	17.3	17.9	16.3	17.1	15.3	20.3	0.1
Te	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.01
Ba	352.5	313.1	320.8	283.0	256.3	253.8	226.8	321.3	0.1
Rb	48.1	43.6	41.4	38.1	37.5	34.2	32.8	41.0	0.1
Sr	259.1	245.1	236.7	230.0	219.6	204.6	206.1	237.1	0.1
U	6.4	4.0	5.2	4.7	3.6	4.0	5.5	4.5	0.1
Th	8.5	7.9	8.8	10.1	9.7	8.8	11.4	12.4	0.1

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Таблица 16

Содержания микрокомпонентов в пробах окисленных руд по результатам ICP MS, г/т\*

Элемент	Окисленная руда								Чувствительность
	Исходная	-0.5+0.315	-0.315+0.2	-0.2+0.125	-0.125+0.071	-0.071+0.045	-0.045+0.010	-0.010	
As	1685.4	1293.0	1492.3	1428.6	1399.9	1300.4	1450.9	1839.4	0.1
Bi	12.7	9.8	11.0	13.2	14.2	13.8	14.5	16.4	0.1
Co	173.8	164.1	187.6	171.8	159.9	131.0	134.5	170.1	0.1
Ni	64.8	56.0	64.2	65.4	61.7	59.8	60.5	78.1	0.05
Cu	565.9	425.7	512.1	508.7	506.4	504.8	517.8	629.1	0.05
Pb	38.7	33.5	42.1	41.2	45.7	45.2	45.4	43.3	0.3
Zn	398.7	302.9	347.2	336.4	353.2	332.2	363.9	507.1	0.1
Sb	21.3	15.9	16.1	16.1	19.9	16.5	18.4	19.5	0.1
Te	1.5	1.1	1.1	1.6	1.6	1.7	1.7	1.9	0.01
Ba	472.4	644.9	688.5	745.3	915.9	1241.7	796.2	552.2	0.1
Rb	39.1	42.2	45.6	42.7	41.5	41.0	36.5	39.9	0.1
Sr	230.2	265.5	290.3	275.2	270.1	258.6	217.0	153.4	0.1
U	6.5	4.4	6.0	7.3	6.2	5.9	6.3	6.4	0.1
Th	12.9	5.4	10.5	10.1	9.5	9.7	9.1	13.1	0.1

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Для каждого типа руд рассчитаны парные коэффициенты корреляции (КК) для благородных металлов, петрогенных компонентов и микроэлементов (рис. 46-47). Для выборки химических анализов ( $n=12$ ) рассчитано критическое значение критерия Пирсона –  $R = 0.58$ . Значения 0.58-0.7 принимаются как слабая корреляционная связь, 0.7-0.8 – средняя, 0.8-0.99 – сильная.

В первичных рудах фиксируются схожие парные КК: сильная связь ( $>0.8$ ) для Ni-Zn-As, Ni-S, Zn-S и Fe-Ni-S. Cu-Pb-Zn ( $>0.9$ ) вероятно отражает сильную корреляционную зависимость этих элементов т.к они образуют полисульфидную минеральную ассоциацию. Также сильная связь отмечается для (0.7-0.8) Fe-Ni-As, что свидетельствует о совместном нахождении в пробе арсенопирита, пирротина и пентландита. Повышенные коэффициенты корреляции 0.7 Te-As – свидетельствует о низкотемпературном парагенезисе минералов, содержащих эти элементы. Высокий КК для Na-Al обусловлен нахождением в рудах плагиоклазов ряда (альбит-анортит).

Для окисленной руды фиксируется высокий положительный коэффициент корреляции ( $>0.9$ ) для Cu-Pb-Zn – это свидетельствует о нахождении в окисленных рудах полиметаллической ассоциации, которая, вероятно, может являться реликтовой из первичных руд, для Te-Bi – существование низкотемпературного парагенезиса теллуридов-висмутидов.

Тесная корреляционная связь Pd-Te и средняя связь Pd-Au указывает на совместное присутствие в рудах этих элементов.

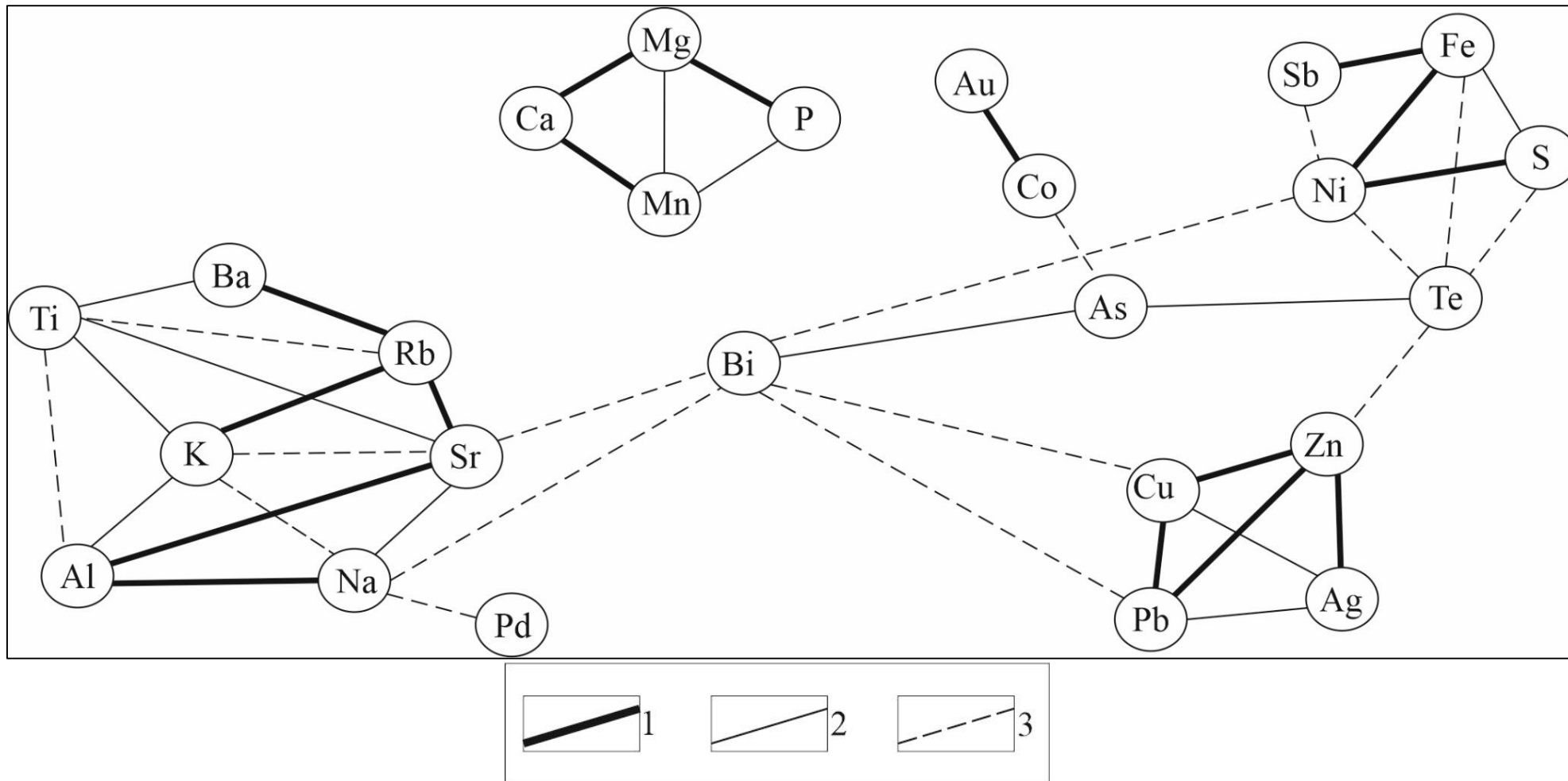


Рис. 46. Схема ветвящихся связей для петрогенных компонентов и элементов-примесей первичных сульфидных руд Каштауской рудоносной площади  $r=0.58$ ,  $n=12$ , уровень значимости ( $p$ ) = 0.05. Значения коэффициентов парной корреляции: 1 – 0.8-0.99 (сильная связь), 2 – 0.7-0.8 (средняя связь), 3 – 0.58-0.6 (слабая связь)

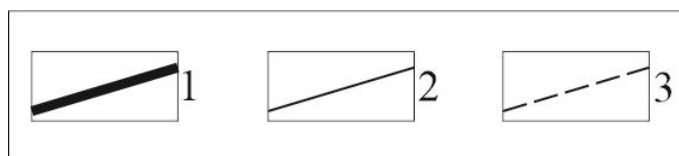
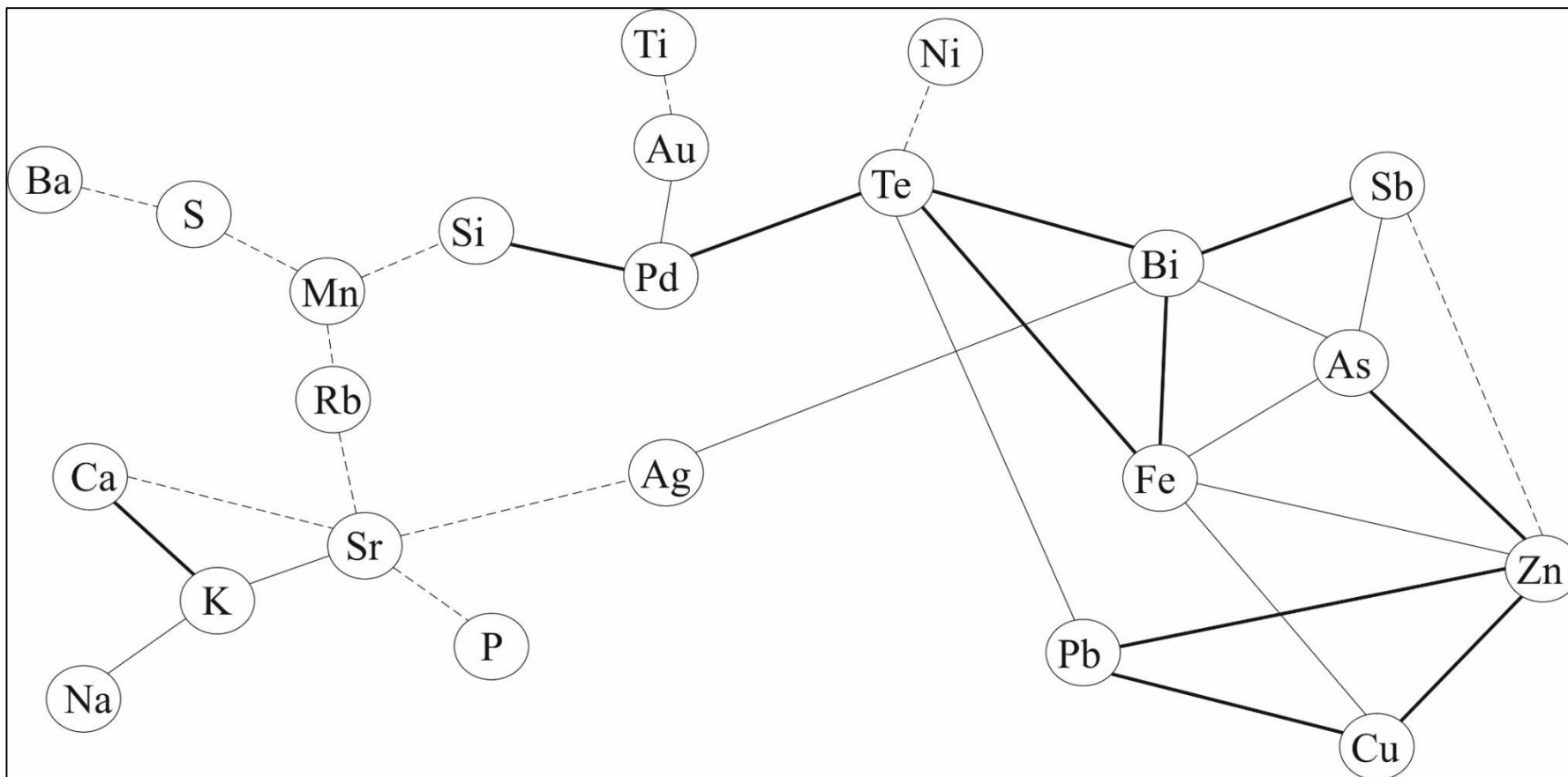


Рис. 47. Схема ветвящихся связей для петрогенных компонентов и элементов-примесей окисленных руд Каштауской рудоносной площади  $r=0.58$ ,  $n=12$ , уровень значимости ( $p$ ) = 0.05. Значения коэффициентов парной корреляции: 1 – 0.8-0.99 (сильная связь), 2 – 0.7-0.8 (средняя связь), 3 – 0.58-0.6 (слабая связь)

#### 4.2 Химические особенности технологических продуктов обогащения

Определены валовый химический состав материала исходных проб хвостов флотационного обогащения (ХФ) (табл. 18-19). Методом пробирного анализа установлены содержания благородных металлов (Au, Ag, Pd): в «хвостах» первичных руд среднее содержание золота составляет – 0.5 г/т, а в окисленных – 1.5 г/т (табл. 17).

Таблица 17

Содержания благородных металлов в пробах хвостов флотационного обогащения по результатам пробирного анализа, г/т\*

Элемент	ХФ первичной	ХФ окисленной	Чувствительность
<b>Au</b>	0.50	1.53	0.005
<b>Ag</b>	1.70	1.50	0.001
<b>Pd</b>	0.01	0.02	0.005

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Содержание серебра снижается в окисленных рудах до 0.7 г/т, при 1.2 г/т в первичной руде. Содержания палладия относительно исходных руд и по классам крупности снижаются до 0.01 г/т в «хвостах» первичных руд, и до 0.02 г/т – в окисленных. Исходя из этого можно сделать вывод, что при флотационном обогащении минералы-носители палладия переходят в концентрат флотации.

Таблица 18

Содержания петрогенных оксидов в хвостах флотационного обогащения по результатам рентгенофлуоресцентного анализа, мас. %\*

Оксид	Исходная первичная	Исходная окисленная	Чувствительность
<b>SiO<sub>2</sub></b>	45.77	42.34	0.1
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.82	0.79	0.03
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10.82	13.84	0.1
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18.27	25.98	0.1
<b>MnO</b>	0.79	0.42	0.03
<b>MgO</b>	2.47	1.93	0.1
<b>CaO</b>	15.08	5.77	0.03
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.36	1.60	0.2
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2.16	2.92	0.03
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.26	0.33	0.05
<b>Собщ</b>	2.29	0.19	0.02
<b>Сумма</b>	98.73	94.51	

\*ЦКП ФГБОУ ВО «ПГНИУ», г. Пермь

По химическому составу материал технологических продуктов обогащения, очевидно схож с исходными рудами соответственно, но контрастен между собой как для породообразующих компонентов (SiO<sub>2</sub>, CaO, S<sub>общ</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – табл. 18, так и микрокомпонентов (Zn, As, Ba) – табл. 19. Стоит отметить тенденцию к накоплению в хвостах флотационного

обогащения окисленных руды «рудных» элементов (Co, Cu, Zn). Вероятно, это связано с переходом сульфидов этих элементов в сульфаты и карбонаты меди, цинка и др.

Таблица 19

Содержание микрокомпонентов в хвостах флотационного обогащения по результатам ICP-MS, г/т\*

Элемент	Исходная первичная	Исходная окисленная	Чувствительность
<b>As</b>	3385	2302	0.1
<b>Bi</b>	14	25	0.1
<b>Co</b>	23	151	0.1
<b>Ni</b>	41	46	0.05
<b>Cu</b>	274	636	0.05
<b>Pb</b>	46	52	0.3
<b>Zn</b>	243	471	0.1
<b>Sb</b>	83	128	0.1
<b>Ba</b>	412	712	0.1

\*Химическая лаборатория ALS Group, Москва

Барит при флотации остается в «хвостах» обогащения. С этим связана повышенная его концентрация в тех. продуктах обогащения обоих типов руд относительно исходных руд первичной (Ba 412 г/т и 712 г/т соответственно).

Таким образом, химический анализ «хвостов» флотации показал нецелесообразность этого метода обогащения. Содержания благородных металлов (Au, Ag, Pd), их минералов-спутников показывают значения ниже, чем в исходных рудах, что очевидно, но требуется уточнение или применение других схем обогащения.



## 5. ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В РУДАХ

Определение форм нахождения золота – важная задача, как для понимания генезиса месторождения, так и с точки зрения подбора оптимальной технологии его извлечения. Для решения этой задачи нами детально исследовались HS-концентраты всех размерных фракций первичной сульфидной руды, но наибольшее внимание уделялось фракциям -0.071+0.045 и -0.045+0.010 мм, и аншлифы, с наиболее характерными зонами сульфидной минерализации. В окисленных рудах – все размерные классы HS-концентратов.

Золото Каштауской рудоносной площади обнаружено в пробах первичной сульфидной и окисленной руд. Единственной формой нахождения золота в исследованных рудах отмечено серебристое золото, при этом основным отличием его в разных типах руд является содержание серебра: в зоне окисления происходит «очищение» самородного золота от серебра. Золото отмечено во фракциях -0.315+0.2, -0.071+0.045, -0.045+0.010 мм.

### 5.1. Золото в первичной сульфидной руде

Золото в рудах золото-сульфидной формации часто ассоциировано преимущественно с сульфидами (пиритом и арсенопиритом), и существенная его часть находится в тонкодисперсной форме. Каштауская рудоносная площадь в этом плане не стала исключением: золото в первичных сульфидных рудах, действительно, ассоциирует с сульфидами и сульфоарсенидами, а также обнаруживается в виде микровключений (первые мкм) в пирите и арсенопирите.

#### *Исследование рудных минералов в аншлифах и HS-концентратах методом СЭМ*

В аншлифах отмечены «стандартные» для золото-сульфидной формации минералы: пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит и др. Эти минералы встречаются как в виде массивных агрегатов, сростков друг с другом, а также в виде дискретных включений.

*Пирит* является преобладающим рудообразующим минералом, наблюдаемым в первичных сульфидных рудах. Пирит характеризуется склонностью к идиоморфизму (рис. 48 - а), даже несмотря на то, что в контактово-метасоматических измененных месторождениях т.е. в условиях не благоприятных для образования идиоморфных очертаний, он также обнаруживает склонность к метаморфизму (Рамдор, 1964). Размер частиц в первичных сульфидных рудах колеблется в широких пределах, от 1 мм до частиц в 0.1 мм. Присутствие примесей мышьяка указывает на его связь с генерацией арсенопирита (рис. 48 - б).

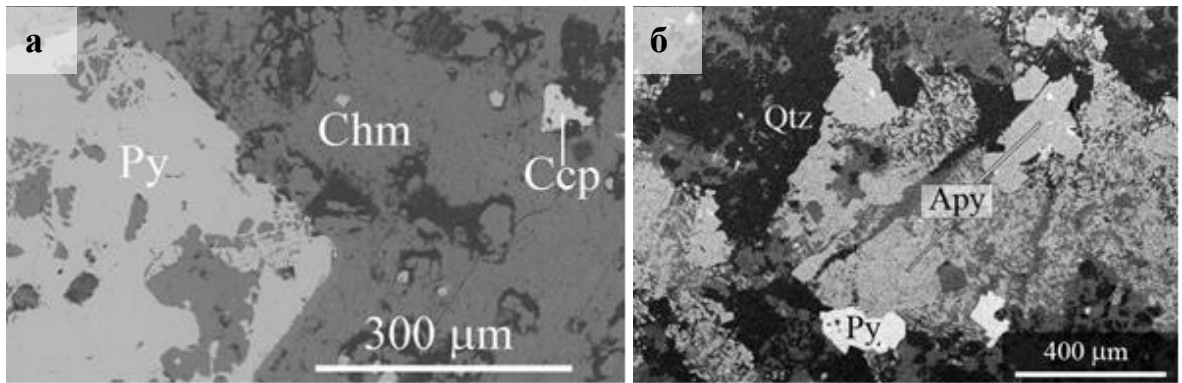


Рис. 48. Расположение пирита в нерудной матрице. а – ранний кристалл пирита в шамозите, а – сростки пирита с арсенопиритом в кварце и гидроксидах железа Py – пирит, Аpy – арсенопирит, Qtz – кварц, Chm - шамозит, Ccp - халькопирит.

В химическом составе зерен пирита отмечены заметные примеси мышьяка, в то время как для арсенопирита, который находится в сростках с пиритом характерны примеси кобальта и сурьмы. (табл. 20)

Таблица 20

Химический состав сульфидных минералов (рис. б), мас. %

Элемент	Минералы	
	Пирит	Арсенопирит
Fe	46.57	32.97
As	0.94	40.06
S	52.08	23.74
Co	0.18	2.95
Сумма	99.77	99.72

*Пирротин* является вторым главным сульфидным минералов после пирита. Минерал образует вкрапленность в геденбергите (рис. 49 - а) Размер агрегатов варьирует от 0.5 мм до 2 мм и более. Часто у пирротина наблюдают корродированные грани кристаллов (рис. 49 - б). Также при проведении микрозондовых анализов отмечены ряд химических анализов, которых не встречаются элементы-примеси. Типичными элементами-примесями в пирротине являются кобальт и никель (табл. 21).

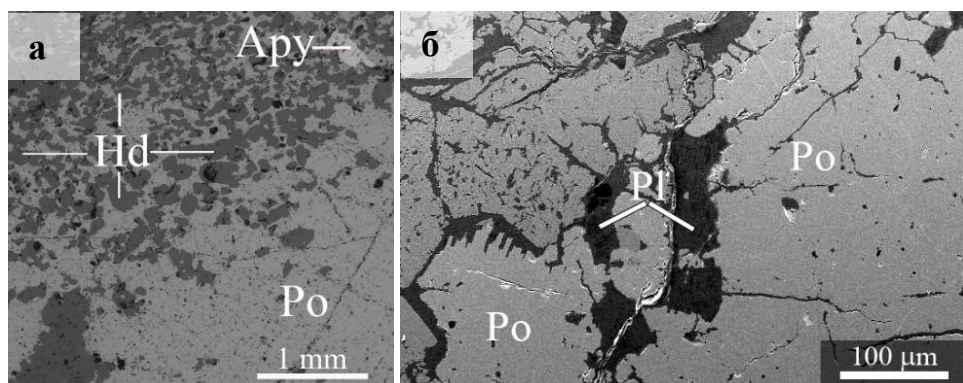


Рис. 49. Массивный пирротинный агрегат. а - Фрагмент зоны сульфидизации (перехода от массивной к вкрапленной текстуре в пироксенах, б- пирротин на контакте с плагиоклазами. Po – пирротин, Аpy – арсенопирит, Pl – плагиоклаз, Hd - геденбергит.

## Химический состав пирротина в аншлифе

Элемент	Минералы	
	Пирротин	Пирротин
Fe	59.69	61.25
S	39.38	38.59
Co	0.18	0.09
Ni	0.08	0.07
Сумма:	99.33	100.00

*Арсенопирит* образует мономинеральные агрегаты, в которых зерна гипидиоморфны с незначительной зазубренностью (рис. 50 - а). В ряде случаев арсенопирит развивается внутри массивных агрегатов пирротина замещает шамозит (рис. 50 - б). Частыми примесями в арсенопирите отмечаются кобальт и никель (первые доли мас. %).

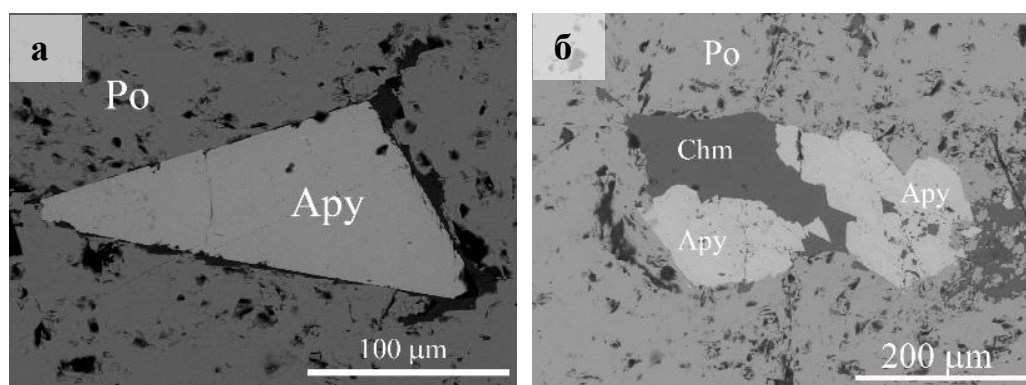


Рис. 50. Правильные кристаллы арсенопирита. а – идиоморфный кристалл арсенопирита в массивном агрегате пирротина, б - выделение арсенопирита в шамозите, Ару – арсенопирит, Ро – пирротин, Chm – шамозит.

*Халькопирит* является мало распространенным минералом. В основном он наблюдается в ассоциации с кварцем, заполняя трещины в гранате в виде аллотриоморфных кристаллов размерами более 0.1 мм (рис. 51 - б). Также халькопирит образует сростки с пиритом (рис. 51 -а) в силикатной матрице (чаще всего это минерал группы хлорита – шамозит). Примеси в халькопирите не отмечены.

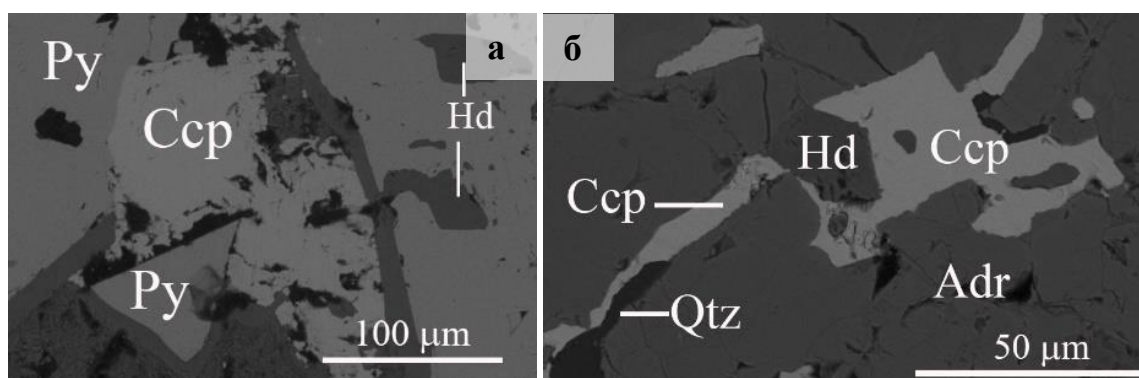


Рис. 51. Халькопирит. а – сросток с пиритом на контакте с геденбергитом, б – трещины в гранате, выполненные халькопиритом и кварцем. And - андрадит, Ccp - халькопирит, Hd - геденбергит, Py - пирит, Qtz - кварц.

*Кобальтин* отмечен в виде отчетливых кристаллов на границе пирита и железистого хлорита (шамозита). Размер таких кристаллов до 0.2 мм. Микронзондовым анализом аншлифах установлено присутствие сульфоарсенидов кобальта (рис. 52) и железистого хлорита в трещинах. Химический состав сульфидов представлен в таблице 22.

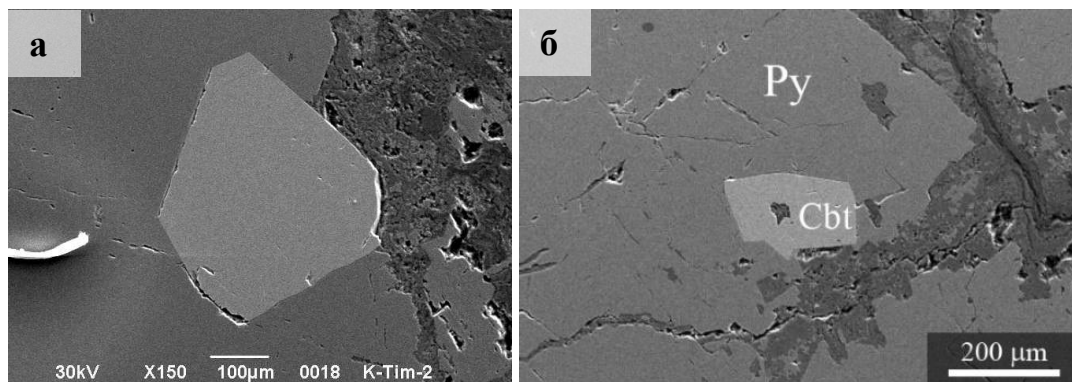


Рис. 52. Включения сульфидов Co в пирите. а - Кристалл кобальтина на контакте с пиритом и шамозитом, б - выделение кобальтина в пирите, Py – пирит, cbt – кобальтин.

Таблица 22

Химический состав зерен сульфидов в аншлифе, мас. %

Элемент	Минералы	
	Пирит	Кобальтин
Fe	47.54	20.84
S	52.15	19.70
Co	0.16	15.53
As	-	42.67
Se	0.15	-
Сумма:	100.00	98.74

*Сфалерит* проявлен слабо – в отдельных аншлифах его содержания не превышает 1-2 %. Развит главным образом внутри массивных агрегатов пирита в виде зерен неправильной формы, размер образований 0.05-0.1 мм (рис. 53). Средний химический состав сфалерита Zn - 64.2±2.3 мас. %, S = 29.3±3.2 мас. %, повсеместно распространена примесь Fe = 5.5 мас. % (n=10)

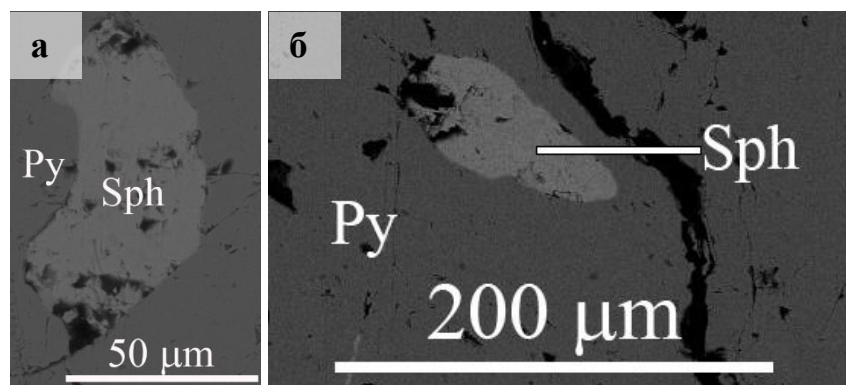


Рис. 53. Выделение сфалерита в массивных агрегатах пирита. Py - пирит, Sph - сфалерит

*Галенит* в основном представлен в виде тончайших вкраплений в интерстициях массивного арсенопирита, размер которых редко превышает первые микрометры. Часто галенит залечивает трещины в сульфидах, чаще всего в пирротине (рис. 54 - б). Крайне редко встречаются гипидиоморфные кристаллы галенита в арсенопирите размерами до 0.01 мм (рис. 54 - а).

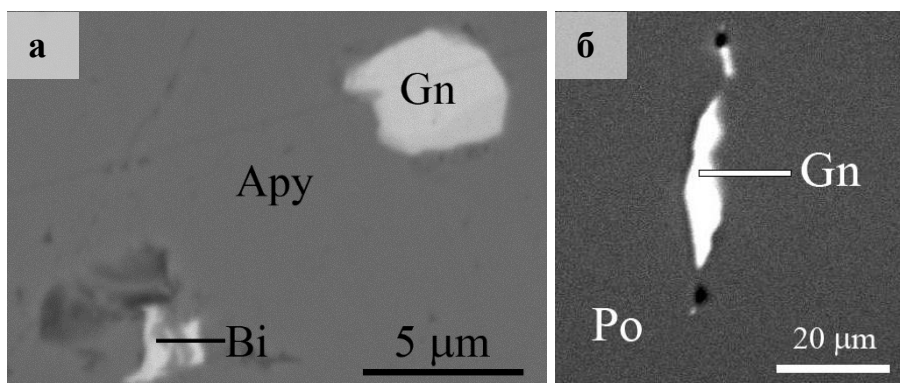


Рис. 54. Микровключение галенита в агрегате арсенопирита. Ару - арсенопирит, Gn – галенит, Bi – самородный висмут

#### *Самородный висмут*

В самом тонком классе обнаружен самородный висмут (рис. 55). Он встречается как в виде отдельных зерен и сростков с арсенопиритом, так и в виде микровключений в арсенопирите. Из природных металлов он наиболее распространенный (но не самый частый) (Рамдор, 1962). Он является типичным «сквозным» минералом для обширного круга месторождений, относящихся к магматогенному ряду в т.ч гидротермальным месторождениям золота.

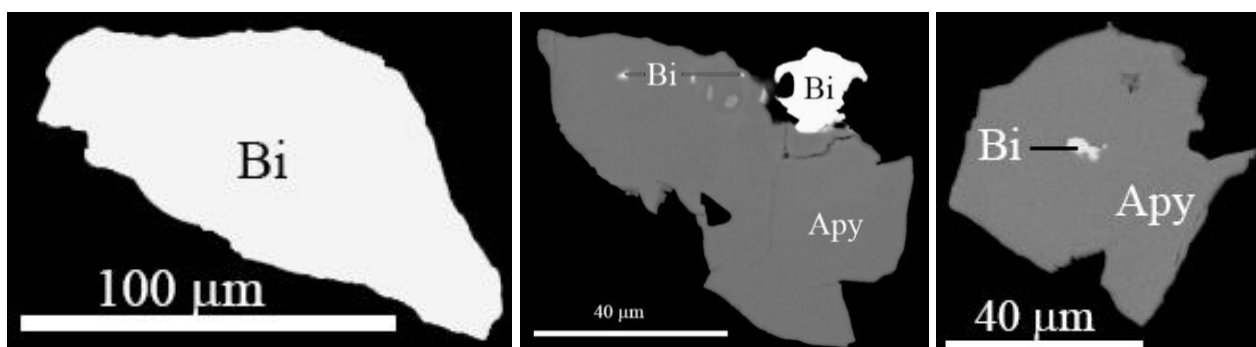


Рис. 55. Изображения самородного висмута в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации, BSE-фото. Ару – арсенопирит, Bi – самородный висмут.

#### *Самородное золото*

В концентратах гидросепарации при изучении на рудном микроскопе обнаружены зерна самородного золота в размерной фракции  $-0.045+0.010$  мм (рис. 56).

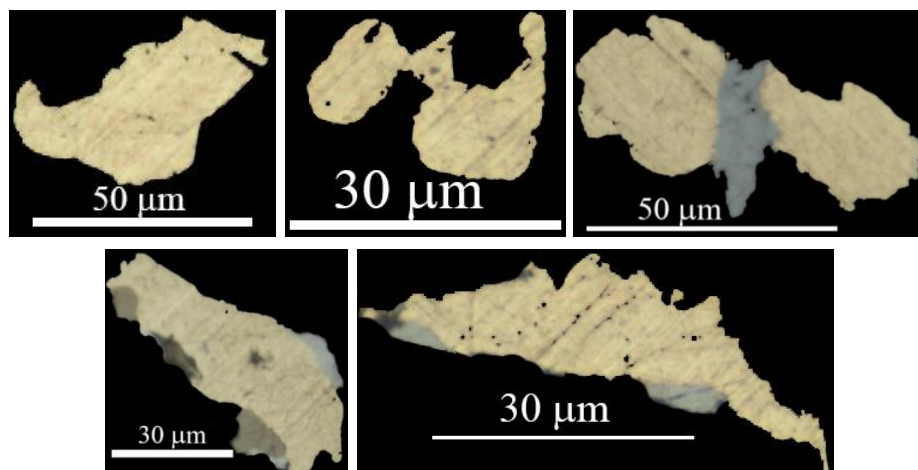


Рис. 56. Зёрна самородного золота в «тяжелом» NS-концентрате (первичная сульфидная руда, фр.-0,045+0,010 мм); полированный шлиф, оптические фото.

По форме преобладают удлиненные или таблитчатые зерна (рис. 57). Поверхность зерен неровная с многочисленными наростами, углублениями и выступами. В основном зерна золота представляют собой мелкие частицы (размером 30-50 мкм). Встречаются зерна в сростках в сульфидами железа, а также сростки с самородным висмутом, что свидетельствует о взаимном парагенезисе, а следовательно о возможном низкотемпературном минералообразовании.

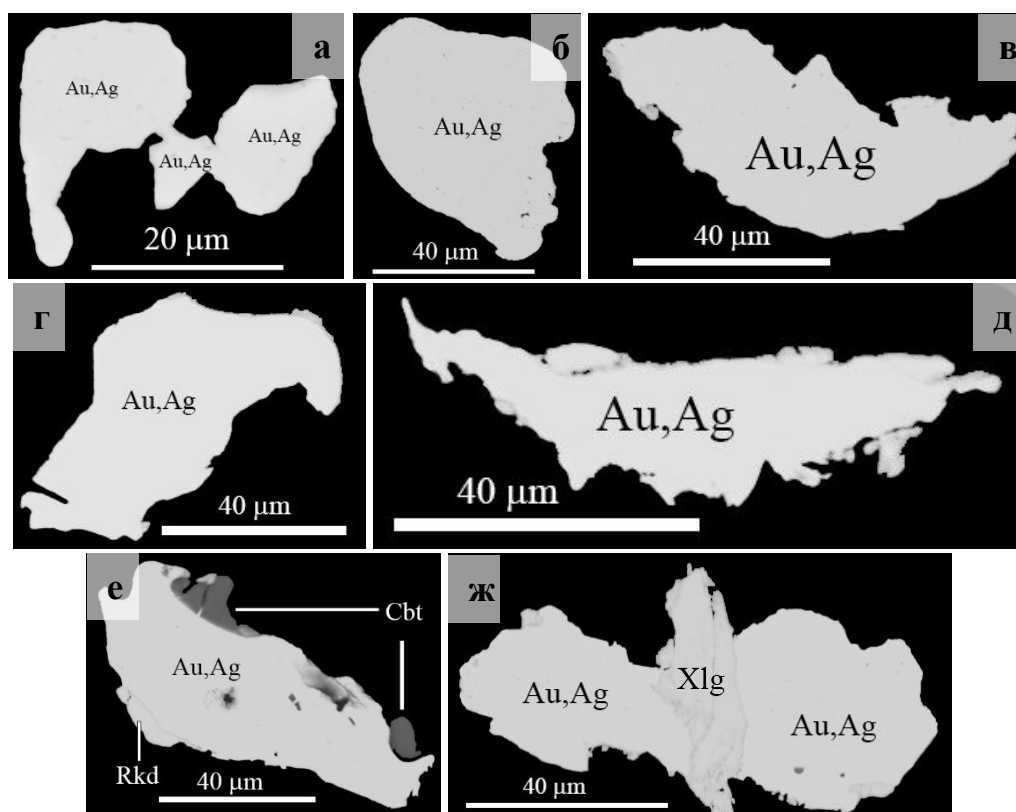


Рис. 57. Зёрна самородного золота в первичной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации (ППШ), BSE-фото. а-д – свободные зерна, е-ж – в сростках с сульфидами и висмутотеллуридами. Au,Ag – самородное золото, Cbt – кубанит:  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ , Rkd – раклиджит:  $(\text{Bi,Pb})_3\text{Te}_4$ , Xlg – ксилинголит:  $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$

По результатам измерений свободных зёрен – агрегатов Au определён эффективный размер раскрытия частиц  $ECD = 42.23 \pm 3.46$  мкм ( $n = 43$ ).

Химический состав самородного золота разнообразен (табл. 23), содержание Au и Ag варьирует в диапазоне: Au:  $81.11 \pm 1.92$  мас. % и Ag:  $18.89 \pm 4.06$  мас. % ( $n=27$ ).

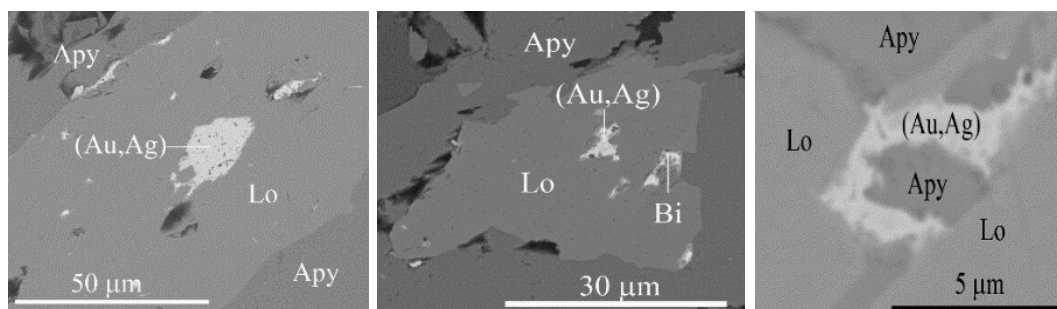
Таблица 23

Химический состав самородного золота (мас. %) в первичной сульфидной руде (Проба №1)

№ п/п	Au	Ag	Сумма	№ п/п	Au	Ag	Сумма
1	82.27	17.73	100.0	15	61.75	38.25	100.0
2	77.22	22.78	100.0	16	62.35	37.65	100.0
3	61.41	38.59	100.0	17	62.04	37.96	100.0
4	86.4	13.6	100.0	18	86.23	13.77	100.0
5	89.11	10.89	100.0	19	86.56	13.44	100.0
6	89.13	10.87	100.0	20	87.09	12.91	100.0
7	88.88	11.12	100.0	21	86.26	13.74	100.0
8	88.01	11.99	100.0	22	86.95	13.05	100.0
9	81.34	18.66	100.0	23	86.82	13.18	100.0
10	81.63	18.37	100.0	24	86.46	13.54	100.0
11	80.92	19.08	100.0	25	84.34	15.66	100.0
12	79.32	20.68	100.0	26	84.59	15.41	100.0
13	79.79	20.21	100.0	27	83.94	16.06	100.0
14	79.08	20.92	100.0				

#### *Микровключения самородного золота в сульфидах*

При исследовании аншлифов также отмечены микровключения (первые мкм) золота в различных сульфидах и сульфоарсенидах (рис. 58). Золото в дискретных включениях представлено в форме серебристого золота и различается по содержанию примеси серебра в нем. Средний химический состав таких частиц: Au =  $74,83 \pm 2,66$  мас. %, Ag =  $25,17 \pm 4.58$  мас. % ( $n=20$ ).



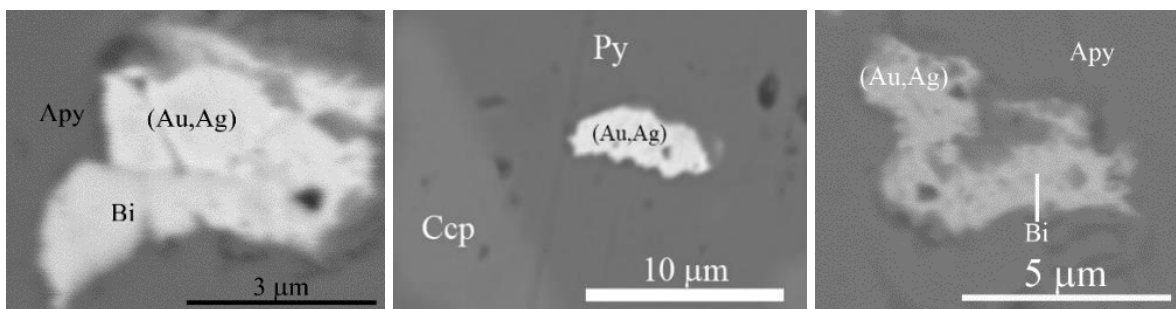


Рис. 58. включения самородного золота в сульфидах, сульфосарсенидах и арсенидах железа первичной руде BSE-фото. Au,Ag – самородное золото, Lo - леллингит, Ару – арсенопирит, Сср – халькопирит, Ру – пирит, Вi – самородный висмут

Выполнен MLA (автоматический анализ) микровключений в пирите и арсенопирите HS-концентрата первичной сульфидной руды (рис. 59) размерной фракции  $-0.045+0.010$  мм. Определены размеры микровключений и соотношения различных типов зерен этих минералов (степень их высвобождения) в измельченном продукте.

Палладий зафиксирован только в одном из анализов составов микровключений в арсенопирите в ассоциации с висмутом и сурьмой (мас. %): Pd = 4.41; Sb = 10.16; Bi = 21.57. Однородное его распределение по классам крупности (см. табл. 12-13) и незначительно повышенные концентрации в самых тонких классах крупности совместно с результатами анализов составов микровключений позволяют одну из форм нахождения – в виде примеси в главной минеральной ассоциации: самородное золото-висмутотеллуриды.

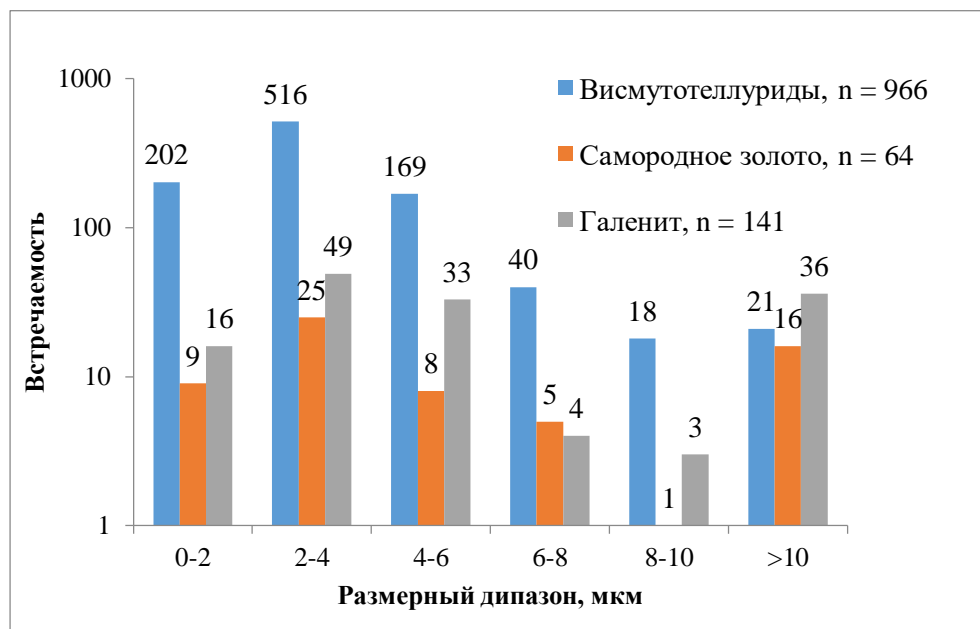


Рис. 59. Статистика (MLA) по микровключениям в арсенопирите

### Золото

Анализ размерного распределения самородного золота с помощью MLA-технологии (Mineral Liberation Analysis, программный пакет AztecFeature) показывает бимодальный



характер: выделяется две группы частиц золота. Первая – микровключения, которые обнаружены арсенопирите и пирите средний размер до 10 мкм (n=48). Вторая группа – крупные свободные зёрна самородного золота, а также крупные сростки самородного золота с сульфидами и висмутидами, размерами >10 мкм (n=16).

#### *Висмутотеллуриды*

Анализ встречаемости висмутотеллуридов с помощью MLA-технологии схож с распределением золота и показывает бимодальный характер распределения. Выделяется две группы частиц: микровключения размерами до 6 мкм (n=887) и крупные обособления свыше 6 мкм (n=79), средний размер которых ~ 12-14 мкм (n=30).

#### *Галенит*

Микровключения галенита встречаются в арсенопирите и пирите совместно с висмутотеллуридами. Выделяются размерные группы микровключений: 0-6 мкм (n=98) и >6 мкм (n=43). Стоит отметить, что встречаются единичные включения галенита, размерами 50 и ~80 мкм.

Совместная встречаемость микровключений в арсенопирите и пирите свидетельствует о парагенезисе самородного золота с этими минералами.

#### *Минеральный баланс пробы первичной сульфидной руды*

По данным химического состава проб, рентгенофазового анализа и количественной оценки зерен в HS-конcentратах, а также состава самих минералов рассчитан минеральный баланс композитной пробы первичных сульфидных руд (табл. 24). Стоит отметить, что за основу расчета бралось содержание серы в продуктивных классах, т.е. в тех, где «вскрываются» сульфидные минералы (-0.2+0.045 мм).

Таблица 24

Содержания главных рудных минералов в изученной пробе первичных сульфидных руд (масс. %)

<b>Минерал</b>	<b>Формула</b>	<b>Содержание, мас. %</b>
<b>Самородный висмут</b>	(Bi,Te)	0.0007
<b>Висмутинит</b>	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	0.0007
<b>Галенит</b>	PbS	0.004
<b>Кобальтин</b>	(Co,Ni)AsS	0.053
<b>Сфалерит</b>	(Zn,Fe)S	0.095
<b>Халькопирит</b>	CuFeS <sub>2</sub>	0.166
<b>Лёллингит</b>	FeAs <sub>2</sub>	0.016
<b>Арсенопирит</b>	FeAsS	0.456
<b>Пирротин</b>	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	4.938
<b>Пирит</b>	FeS <sub>2</sub>	5.886

Встречены также редкие минералы висмута и теллура: ксилинголит - (Bi,Pb)<sub>3</sub>Te<sub>4</sub> и раклиджит - Pb<sub>3</sub>Bi<sub>2</sub>S<sub>6</sub>, характерные для золоторудных месторождений.

По минеральному составу в первичных рудах преобладает пирит-пирротиновая минеральная ассоциация (до 11 мас. %), в подчиненных количествах встречаются арсенопирит (0.46 мас. %) и халькопирит (0.17 масс. %).

## 5.2. Золото в окисленной руде

Изучен дробленный материал (<1 мм) в виде HS-концентратов окисленной руды. С помощью бинокулярного микроскопа отобраны частицы самородного золота крупнее 0.315 мм для последующего исследования их химического состава с помощью электронной микроскопии. Всего обнаружено 20 зерен самородного золота.

В концентратах гидросепарации зерна самородного золота установлены в размерных фракциях -0.071+0.045 мм (рис. 60) и -0.045+0.010 мм (рис. 61)

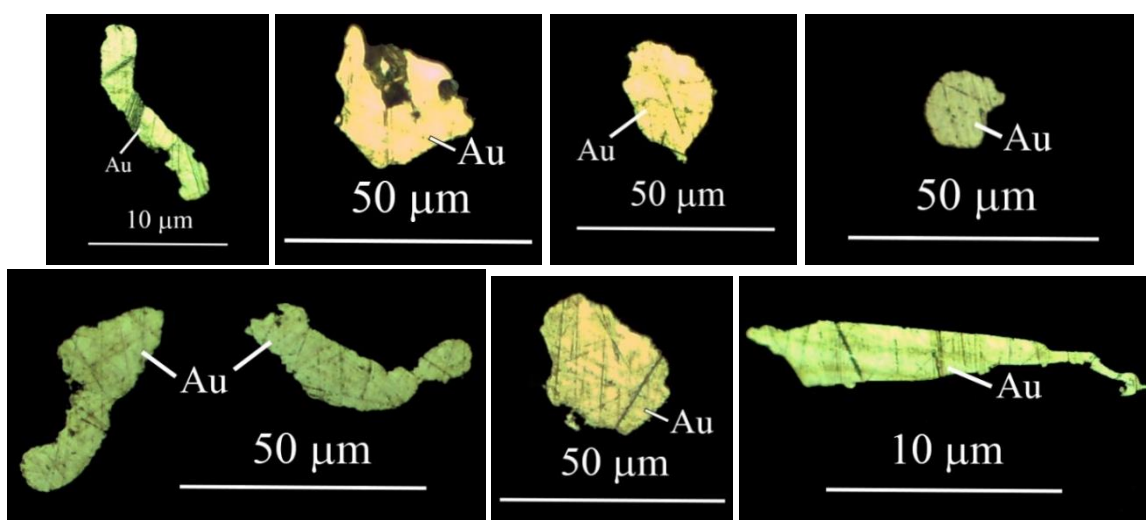


Рис. 60. Свободные зёрна самородного золота «тяжелого» HS-концентрата (окисленная руда, фр.-0.071+0.045мм); Полированный шлиф, оптические фото.

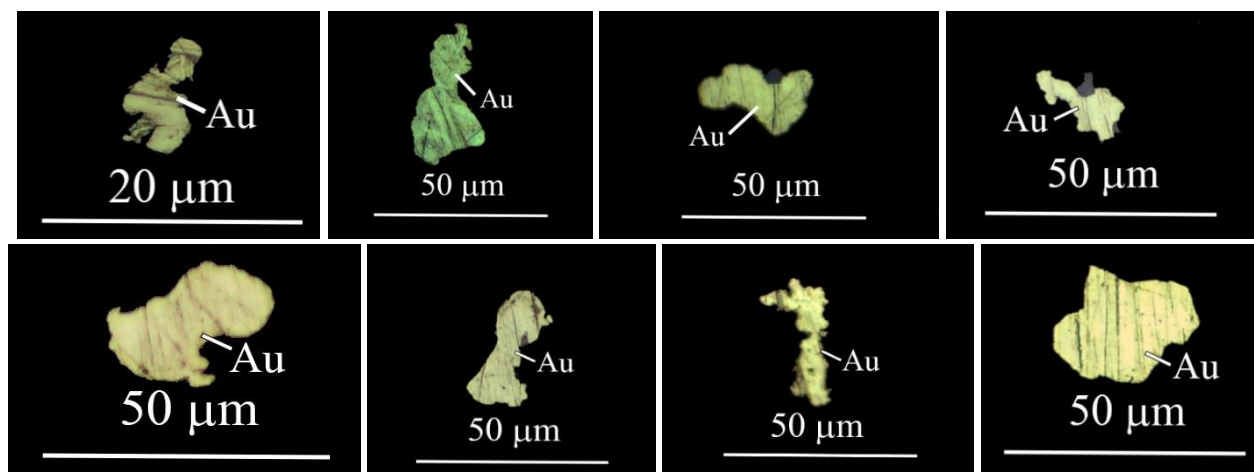


Рис. 61. Свободные зёрна самородного золота «тяжелого» HS-концентрата (окисленная руда, фр.-0.045+0.010 мм); Полированный шлиф, оптические фото.

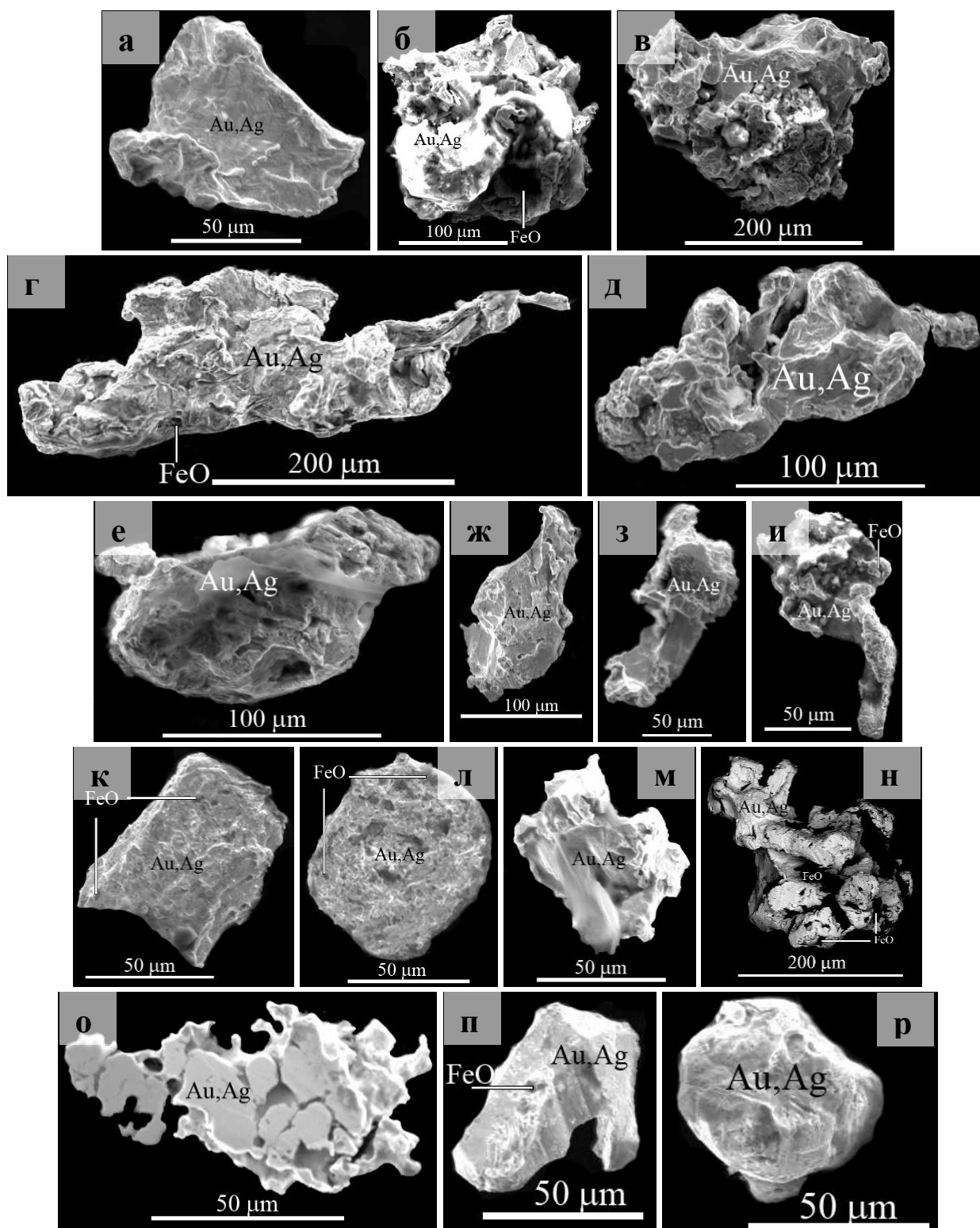


Рис. 62. Объёмные зерна самородного золота в окисленных рудах Каштауской рудоносной площади, BSE-фото, Au,Ag – самородное золото, FeO – оксидные железистые пленки.

По морфологическим признакам преобладают удлинённые индивиды сложного облика или таблитчатые зерна (рис. 62). Поверхность зерен неровная с многочисленными наростами, углублениями и выступами. На относительно гладких участках присутствует множество микропор размером менее 10 мкм. В основном зерна золота представляют собой агрегаты мелких частиц (размерами 10-30 мкм), сцементированные вторичными образованиями золота

или железистым веществом (рис. 62, б, и, к, л, п). Часто наблюдаются агрегаты, представляющие нарастания золотинок на первичном золоте (рис. 62, г-д, н-о), что подчеркивает активную роль процессов самоукрупнения золота в коре выветривания.

Наличие оксидных пленок на зернах самородного золота в окисленной руде свидетельствует о формировании частиц золота одновременно с процессами химического выветривания (Некрасов, 1991). Пленки оксидов железа на образцах самородного золота являются типоморфными признаками прохождения стадии коры выветривания (Кузнецова, Сафронов, 2021).

Таблица 25

Размеры (ECD) свободных зёрен самородного золота в окисленной руде

№ п/п	ECD, $\mu\text{m}$	№ п/п	ECD, $\mu\text{m}$	№ п/п	ECD, $\mu\text{m}$
1	20.84	11	24.45	21	85.39
2	22.08	12	33.81	22	72.24
3	15.07	13	6.01	23	76.55
4	12.13	14	199.32	24	78.20
5	20.34	15	230.95	25	61.30
6	25.64	16	245.89	26	59.79
7	6.16	17	128.39	27	57.30
8	22.82	18	112.34	28	55.88
9	5.78	19	113.38	29	204.42
10	27.98	20	98.54		
<b>ECD max</b>					245.89
<b>ECD min</b>					5.78
<b>ECD average</b>					73.21

По результатам измерений (табл. 25) свободных зёрен – агрегатов Au определён эффективный размер раскрытия частиц  $ECD = 73.21 \pm 15.95$  мкм ( $n = 29$ ).

Химический состав самородного золота разнообразен (табл. 26), содержание Au и Ag варьирует в диапазоне: Au:  $87.53 \pm 1.14$  масс. % и Ag:  $9.47 \pm 3.50$  масс. % ( $n=16$ ).

Для исследования химизма золота и его размеров проведена расшлифовка до середины зерен в пределах узких размерных фракций ( $-0.071+0.045$  и  $-0.045+0.010$  мм). Результаты показали отсутствие примесей (за исключением серебра) в составе самородного золота (табл. 26). Форма и размер зерен приведены на рис. 63.

Таблица 26

Химический состав самородного золота (масс. %) в окисленной руде

	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>Сумма</b>
<b>1</b>	89.85	11.54	<b>101.39</b>
<b>2</b>	87.63	11.60	<b>99.24</b>
<b>3</b>	94.49	7.79	<b>102.28</b>
<b>4</b>	85.96	15.12	<b>101.08</b>
<b>5</b>	89.13	12.29	<b>101.43</b>
<b>6</b>	81.81	19.64	<b>101.45</b>

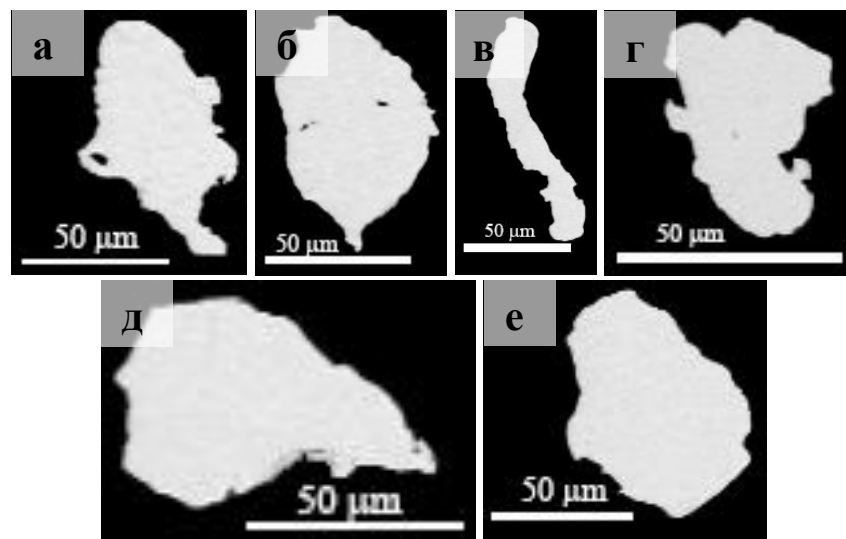


Рис. 63. Изображения золота в окисленной руде из «тяжелых» концентратов гидросепарации фр.  $-0.071+0.045$  мм (однослойный полированный шлиф), BSE-фото.

Оксиды железа (магнетит, гематит и др.) формируются по первичным сульфидам (рис. 64). Химический состав исследованных магнетита близок к идеальному составу: рассчитанный ( $n=16$ ) - Fe =  $72.36\pm 0.15$  масс. % и O =  $27.06\pm 0.24$  масс. %, при известном – Fe = 72.36 масс. % и O = 27.64 масс. % (данные взяты с [webmineral.com](http://webmineral.com)).

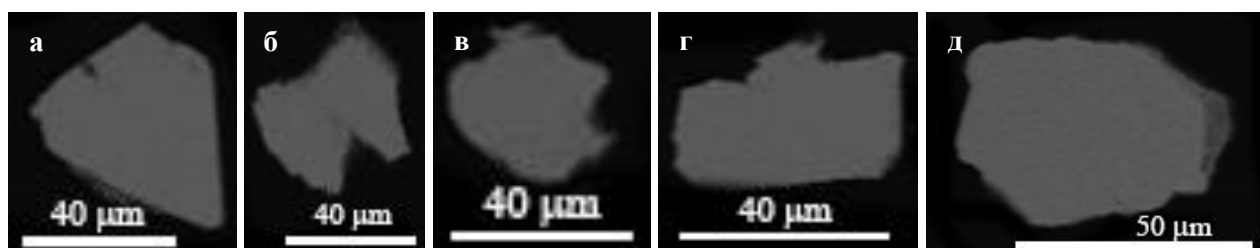


Рис. 64. Зерна магнетита в «тяжелых» концентратах окисленных руд (а, б – магнетит, в-д – гематит)

В связи с очевидным развитием оксидов железа по первичным сульфидам, нередко несущим примеси и микровключения самородного золота и сопутствующих минеральных ассоциаций (галенит, висмито-теллуриды), отдельно проведены анализ составов и микрофотографирование зёрен магнетита и гётита: реликтов микровключений не обнаружено

### *Технологические испытания*

Технологические испытания по извлечению золота в концентраты проведены на промышленной площадке. Испытания проводились по различным схемам обогащения для определения самой эффективной из них. Среди них испытания по гравитационному, флотационному обогащению, сорбционному или кучному выщелачиванию, а также укрупненным гравитационно-флотационным испытаниям. Содержания золота определялось пробирно-атомно-абсорбционным методом.

Проведены технологические исследования пробы *первичной сульфидной руды*:

1. Содержание золота от 1.8 до 2.0 г/т;
2. Гравитационное обогащение руды показало извлечение золота в пределах 20.9 – 24.7 %;
3. При гравитационно-флотационной схеме обогащения в концентраты извлекается 58.04 – 66.41 %;
4. Флотационное обогащение исходной руды пробы показало извлечение 60.63 %;
5. Прямое выщелачивание исследуемой пробы руды обеспечивает извлечение золота на уровне 83.30 %;
6. Исследуемую руду рекомендовано перерабатывать по технологии гравитационно-цианистой схеме при крупности помола 90÷95 % класса -0.1 мм с применением сорбционного выщелачивания или кучного выщелачивания при крупности дробления 90÷95% класса -5 мм.

Проведены технологические исследования пробы *окисленной руды*:

1. Содержание золота от 3 до 3.7 г/т;
2. Гравитационное обогащение руды показало извлечение золота в пределах 26.2 – 29.5 %;
3. При гравитационно-флотационной схеме обогащения в концентраты извлекается 64.29 – 67.97 %;
4. Флотационное обогащение исходной руды пробы показало извлечение 63.7 %;
5. Прямое сорбционное выщелачивание исследуемой пробы руды обеспечивает извлечение золота на уровне 89.92 %;
6. Проведенные исследования по кучному выщелачиванию пробы руды показали извлечение золота в цианистый раствор 92.05 %;
7. Исследуемую пробу руды рекомендовано перерабатывать по технологии гравитационно-цианистой схеме при крупности помола 90÷95 % класса -0.1 мм.

Анализ распределения и форм нахождения и минеральных ассоциаций золота в продуктах технологического передела первичных и окисленных руд Каштауской рудоносной площади указывает на целесообразность применения разных схем обогащения для каждого

типа руд: для первичных сульфидных руд рекомендуется применение схемы кучного выщелачивания цианидами, а для окисленных руд – гравитационно-цианидной схемы обогащения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены две пробы золотосодержащих руд Каштауской рудоносной площади (Кемеровская область, Российская Федерация).

Материал пробы первичных сульфидных руд представлен контактово-метасоматическими породами: известковыми скарнами; а окисленных золотосодержащих руд – продуктами выветривания и окисления первичных руд: железистыми охрами, глинистыми минералами и остаточными агрегатами полевых шпатов и амфиболов с вкраплениями гранатов группы андрадита. Распределение материала в изученных пробах неравномерно. В материале окисленных руд прослеживается бимодальный характер распределения: преобладают крупные и самая тонкая фракции (~15 % в классе -2.5+1 мм, и ~19 % в классе <0.01 мм соответственно). Значительная доля шламовой составляющей (<0.01 мм) здесь указывает на широкое развитие процессов выветривания. В материале первичных руд преобладает крупная фракция (~35 % в классе крупности -10+5мм), что свидетельствует об относительной устойчивости к электроимпульсному измельчению.

Определены валовый химический состав материала каждой пробы и хвостов флотационного обогащения. По химическому составу материал окисленных и первичных руд контрастен как для порообразующих компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), так и микрокомпонентов ( $\text{Zn}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Ba}$ ). Содержание золота в исходных рудах изменяется от ~1-2 г/т в первичной руде, до 3.7 г/т в окисленной. Содержание серебра снижается в окисленных рудах до 0.7 г/т, при 1.2 г/т в первичной руде. Палладий также концентрируется в окисленных рудах (от 0.4 г/т в первичной руде, до 0.7 г/т – в окисленной).

Анализ распределения золота по классам крупности в продуктах дробления первичных руд указывает на преобладание тонкодисперсных его образований: максимальные его содержания обнаружены в классе крупности -0.045+0.010 мм. В окисленной руде при процессах химического выветривания происходит укрупнение частиц золота, что обеспечивает относительно повышенные его концентрации в крупных классах ( $\text{Au}$  до 4.5 г/т в классе -0.5+0.315 мм), тем не менее максимальные концентрации в окисленных рудах также наблюдаются в самом тонком классе ( $\text{Au}$  до 6.5 г/т в классе крупности -0.045+0.010 мм).

Определены основные формы нахождения золота: 1) крупное самородное золото ( $\text{ECD} = 73.21 \pm 15.95$  мкм),  $\text{Au}$ :  $87.53 \pm 1.14$  масс. % и  $\text{Ag}$ :  $9.47 \pm 3.50$  масс. %; 2) свободные сростки самородного золота с сульфидами и висмутотеллуридами ( $\text{ECD} = 73.21 \pm 15.95$  мкм,  $\text{Au}$ :  $81.11 \pm 1.92$  масс. % и  $\text{Ag}$ :  $18.89 \pm 4.06$  масс. %) и 3) тонковкрапленное золото (размерами первые микронны) в сульфидах в ассоциации с висмутотеллуридами  $\text{Au} = 74.83 \pm 2.66$  мас. %,  $\text{Ag} = 25.17 \pm 4.58$  мас. %.



Анализ распределения и форм нахождения и минеральных ассоциаций золота в продуктах технологического передела первичных и окисленных руд указывает на целесообразность применения различных схем обогащения для каждого типа руд: для окисленных руд рекомендуется применение гравитационно-цианидной схемы обогащения, а для первичных руд – кучного выщелачивания цианидами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Опубликованная*

1. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1999. 236 с.
2. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Часть 2 – Карбонатные породы. Редактор А. В. Хабаков «Недра», 1968, стр. 700.
3. Бабин Г.А., Гусев Н.И., Юрьев А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист N-45 (Новокузнецк). Объяснительная записка. Масштаб 1: 1000000 (третье поколение). С-Петербург, Издательство Спб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2006. 377с.
4. Булах А.Г., Золотарёв А.А., Кривовичев В.Г. структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2014.- 132 с.
5. Вахрушев В.А. Минералогия, геохимия и образования месторождений скарново-золоторудной формации. «Наука». Новосибирск, 1972. С. 241
6. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2018 году. Отв. Ред. Киселев Е.А. Москва, 2019. – С.494.
7. Горелов Г.Ф., Яшин В.Д. Новые данные по геологии Сухаринского месторождения магнетитовых руд (Горная Шория). // Вопросы геологии Сибири. Материалы к научной конференции, посвященной 50 - летию геологического образования в Томском университете. Томск, 1971, с. 28-30 с.
8. 19. Горелов Г.Ф., Яшин В.Д., Федянина Е.С. О стратиграфии района Сухаринского магнетитового месторождения Горной Шории. // Новые данные по рудным полезным ископаемым Сибири. Тр. СНИИГГиМС, вып.171. Новосибирск, 1973, с. 44-48.
9. Гусев А.И. Золото-медно-скарновое оруденение Ульменского месторождения Горного Алтая. // Современные наукоемкие технологии №5, 2013. С. 111-115.
10. Гусев А.И. Геохимические особенности золотого оруденения Мурзинского рудного поля Горного Алтая // Успехи современного естествознания №9, 2014. С. 96-100.
11. Интерпретация геохимических данных.: Учеб. пособие / Е.В. Складаров и др.; Под ред. Е.В. Складарова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001 – 288 с.: ил.
12. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000. – 272 с.
13. Коробейников А.Ф. Гранаты золотоносных скарнов Саяно-Алтайской складчатой области. Известия Томского Политехнического Института им. С.М. Кирова., Том 289. 1976. С 37-46.
14. Кочурова Р. Н. Основы практической петрографии. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. — 176 с.
15. Кузнецова И.В., Сафронов П.Н. Самородное золото кор выветривания Нижнеселемджинского золотоносного узла (Приамурье). Литосфера, 2021, том 21, № 2, с. 239–255.

16. Логвиненко О.В., Тимкин Т.В. Вещественный состав и последовательность минералообразования рудопроявления Лог-26 Топольнинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. 2014 № 383. С. 212-220.
17. Марин Ю.Б. Петрография: Учебник / Ю.Б. Марин. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» 2-е изд., испр. СПб, 2015. 408 с.
18. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука. 1983. 287 с.
19. Никитина А.П., Витовская И.В., Никитин К.К. Минералого -геохимические закономерности формирования профилей и полезных ископаемых коры выветривания. М.: Наука, 1971.
20. Новожилов Ю.И, Гаврилов А.М. Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах / под ред. Курбанова Н.К. – М.: ЦНИГРИ, 1999. С 175. 13 табл. 53 рис.
21. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: «НЦКЛ», 1973 – с. 349.
22. Поспелов А.Г., Федянина Е.С. Новые данные по стратиграфии нижнего палеозоя Горной Шории // Материалы по геологии Западной Сибири, вып. 61, М., 1968, с.86-89.
23. Рамдор. П. Рудные минералы и их сростания. Изд-во иностранной литературы, Москва, 1962. С. 1132 с.
24. Рудашевский Н.С., Бураков Б.Е., Лупал С.Д. и др. Высвобождение и концентрирование аксессуарных минералов посредством электроимпульсной дезинтеграции – эффективный метод технологической минералогии // Записки ВМО. 1991. Вып. 1. – С. 72–81.
25. Рудашевский Н.С., Булах А.Г., Краснова Н.И. и др. Минералы платины, палладия, золота и серебра в карбонатитовых рудах месторождения Люлекоп (массив Палабора, ЮАР) // Записки ВМО. 2001. Вып. 5. – С. 21–35.
26. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 2281808. Российская Федерация. 2006.
27. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 69418, полезная модель. Российская Федерация. 2007.
28. Рудашевский В.Н., Рудашевский Н.С., Антонов А.В., Набиуллин Ф.М., Пастухов Д.М. Технологическая минералогия золота. Записки рос. минер. общ., 2017. Вып. 1 С. 125-147.
29. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н., Антонов А.В. Универсальная минералогическая технология исследования пород, руд и технологических продуктов // Региональная геология и металлогения. 2018. №73. С. 88-102.
30. Синяков В.И. Структурные и генетические особенности магнетитовых месторождений Казского рудного поля. Новосибирск, Наука, 1974, 175 с.
31. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982 – с.668.
32. Трусова, И.Ф. Петрография магматических и метаморфических пород / И.Ф. Трусова, В.И. Чернов. – М.: Недра, 1982. – 194 с.

33. Уваров А.Н., Токарев В.Н., Юрьев А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXVIII (Таштагол). Объяснительная записка. - СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 201\*. с.
34. Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г. и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск, 2000, 188 с.
35. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности // Машиностроение, СПб, 1986г., 252 с.
36. Lastra R. Pric J., Cabri L.J. et al. Gold characterization of a sample from Malartic East (Québec) using concentration by hydroseparator // Proc. International Symposium on the Treatment of Gold Ores, Calgary, Alberta / Eds. by G. Deschênes, D. Houdin, L. Lorenzen. 2005. – P. 17–29.
37. Lesure F. G. Residual enrichment and supergene transport of gold, Calhoun mine, Lumpkin County, Georgia.— Econ. Geol., 1971, v. 66, N 1.
38. Siivola J., Schmid R. Recommendations by the IUGS Subcommision on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07.
39. Morimoto N. Nomenclature of pyroxenes. Canadian Mineralogist. Vol. 27, pp. 143-156 (1989).
40. Ray, G.E., 2013. A review of skarns in the Canadian Cordillera. British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey Open File 2013-08, 50 p.
41. Rudashevsky N.S., Rudashevsky V.N., Lupal S.D. Method for separating granular materials and device for carrying out said method // Patent Cooperation Treaty PCT/RU01/00123, Moscow, 20 April 2001, 10 May 2001. (Russian and English text).
42. Theodore, T.G., Orris, G.J., Hammarstrom, J.M., Bliss, J.D., 1991, Gold bearing skarns. US Geological Survey, Bulletin 1930, 61 p.

#### *Фондовая*

1. Бабин Г.А., Борисов С.М., Токарев В.Н. и др. Легенда Кузбасской серии государственной геологической карты Российской федерации масштаба 1: 200 000 (издание второе). Объяснительная записка. В 3 томах и 1 папке. Новокузнецк, 1999.
2. Демидов И.В., Кононов ОА., Виснап Р.Р. и др. Отчет о результатах работ по объекту "Поисковые работы на золото в пределах Каштауской рудоносной площади (Кемеровская область)". Лицензия КЕМ 0748 БП. Отчет ООО «Недра Кузбасса» за 2013-2015 гг. по госконтракту № 07/2013 от 24.06.2013 г. в 5-ти книгах, 451 стр. текста, 33 рис., табл.44/43 л., текст. прил.35/282 л., граф. прил. 62/62 л., библи.27. (Росгеолфонд, ТФГИ Сибирского ФО, ТФГИ по Кемеровской обл.).
3. Дубский В.С., Некипелый В.Л, Дубский А.В. Составление карты золотоносности Кемеровской области масштаба 1:500 000 (Кемеровская область). (Отчет Геолого-минералогической партии по составлению карты золотоносности Кемеровской области за 2007-2009 гг). пос. Елань, 2009.
4. Дубский В.С., Дубский А.В., Бармотин В.К. Геологический отчет по выполнению работ по объекту «Переоценка прогнозных ресурсов золота коренного, золота россыпного, меди,

свинца, цинка на территории Кемеровской, Новосибирской, Томской областей по состоянию на 01.01.2010 г.» Елань, 2011 г.

5. Мельников В.В., Медведев В.Г., Копейкин М.В. Отчет о результатах работ по составлению прогнозной карты на железные руды масштаба 1:25 000 центральной части Ташелгино-Кондомской зоны за 1974-76 гг.(тема Б.П. 4/201 (12) - /62/298). Пос. Шерегеш, 1976. В 2 книгах и 1 папке. Филиал по Кемеровской области ФГУ ТФИ по СФО. Инв. № 17994.
6. Орлов В.П., Медведев В.Г., Лымарев А.П. Отчет о результатах геологоразведочных и поисковых работ, проведенных на Шерегешевском железорудном месторождении за период с 1.4.1969 г. по 1.12. 1972 года. Новокузнецк, 1972. В 2 книгах и 1 папке.
7. Сергиенко В.Н., Баранов В.В., Шабанов Б.Л. Геологическое строение и полезные ископаемые листов N-45-116-А,В (отчет Чугунашской поисково-съёмочной партии за 1966-69гг). г. Таштагол, 1971 г. В 2 книгах и 1 папке.
8. Сергиенко В.Н., Придухин А.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые листов N-45-104-Г и в N-45-105-В (Отчет Викторьевской поисково-съёмочной партии за 1970-74 гг.) г. Таштагол, 1975. В 2 книгах и 1 папке.
9. Синяков В.И., Захарчук М.Ф. Геологическое строение района месторождений Пыхтун и Мостокол (Тельбесский железорудный район). Отчет по геологической съемке масштаба 1:10000 и теме: "Петрографическая характеристика нижнепалеозойского разреза Тазского района). г. Сталинск, 1957. В 1 книге и 1 папке.
10. Хютте В.П., Шелкова Л.Д. Отчет о результатах ревизионных работ на бор, проводившихся Тельбесской партией в пределах Сухаринского Темирского и Казского железорудных полей в 1956-1959 г.г. Новокузнецк, 1961. В 2 книгах и 1 папке.
11. Яшин В.Д. Геологическое строение и полезные ископаемые листа N-45-115-Б (Отчет по результатам работ Темирской партии за 1967-68гг). Таштагол, 1969. В 2 книгах и 1 папке.
12. Яшин В.Д., Мызников А.М., Миронов В.В. Отчет по геологическому доизучению территории листов N-45-103-Б,Г и N-45-104-А,В с целью выявления участков, перспективных на железоруднение за 1976-1981 гг. Таштагол, 1981. В 2 книгах, 1 папке.