Министерство науки и высшего образования Российской Федерации НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ) Геолого-географический факультет Кафедра динамической геологии

## ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП канд. геол.-минерал. наук, доцент \_\_\_\_\_\_\_И.В. Вологдина «\_\_\_\_\_\_\_И.В. Вологдина 2021 г.

# ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РУДОНОСНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ОЛИМПИАДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

по основной образовательной программе подготовки бакалавров направление подготовки 05.03.01 – Геология

Коробейников Петр Александрович

Руководитель ВКР канд. геол.-минерал. наук, доцент А.Л. Архипов подпись «O2» whence 2021 г.

Автор работы студент группы № \_\_02702\_ П.А. Коробейников

#### ΡΕΦΕΡΑΤ

Петрография и минералогия рудоносных метасоматитов Олимпиадинского золоторудного месторождения (Красноярский край): ВКР бакалавра / П.А. Коробейников. – 37 с., 14 рис., 3 табл., 10 источников.

Объект исследования: образцы руд и пород Олимпиадинского месторождения, отобранные автором в процессе прохождения производственной практики.

Предметом исследования – особенности распределения минералов золотоносных ассоциаций, установление характера основных золотоносных минеральных комплексов.

Цель данной работы – изучение петрографии и минералогии рудоносных метасоматитов Олимпиадинского золоторудного месторождения.

В процессе исследования проведено петрографическое и минералогическое исследование 8 образцов пород: определен их минералогический состав, структурнотекстурные особенности, проанализировано распределение химических элементов.

Анализ полученных результатов позволил определить рудоносные ассоциации и характер распределения редкоземельных элементов. Петрографическое изучение позволило определить минеральный состав и структурно-текстурные особенности.

Ключевые слова: метасоматиты, Олимпиадинское месторождение, Красноярский край.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Общая часть	7
1. Геологическая характеристика Олимпиадинского золоторудного месторождения	7
1.1. Экономико-географическая характеристика района работ	7
1.2 Геологическая изученность	9
1.3 Стратиграфия	.10
1.4 Магматические и метасоматические образования	.15
1.4.1 Магматические образования	.15
1.4.2 Метасоматические образования	.17
1.5 Геолого-структурная позиция месторождения	.19
Специальная часть	.21
2. Петрографические и минералогические исследования рудоносных метасоматитов	
Олимпиадинского золоторудного месторождения	.21
2.1 Петрографические исследования горных пород	.23
2.2. Растровая электронная микроскопия	.28
2.3 Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой	.31
Заключение	.36
Список использованной литературы	.37

#### ВВЕДЕНИЕ

В связи с активным увеличением добычи золота в последние годы в мире в целом, и Российской Федерации в частности, все острее встает вопрос о восстановлении минерально-сырьевой базы.

Одним из перспективных источников золота являются месторождения золота, расположенные в сланцевых толщах, в частности на просторах Енисейского кряжа — одного из старейших регионов золотодобычи на территории Сибири

Несмотря на значительный прогресс в изучении месторождений золота, расположенных в сланцевых толщах, достигнутый с середины второй половины XX века, многие авторы исследований отмечают сложность изучения данных объектов, что создает почву для дальнейших изысканий в данной области.

Предпосылки дальнейшего изучения, порожденные данным обстоятельством, создают необходимость более углубленного изучения пород методами петрографии и геохимии.

Целью данной работы — изучение петрографии и минералогии рудоносных метасоматитов Олимпиадинского золоторудного месторождения

Перед автором были поставлены следующие задачи:

- проведение сбора, обработка и анализ материалов по геологии исследуемой территории
- проведение анализа геологического строения территории Олимпиадинского месторождения
- проведение петрографического описания шлифов и Олимпиадинского месторождения
- с помощью электронной микроскопии провести исследование имеющихся в наличии образцов руд и пород Олимпиадинского месторождения.

Объектом исследования стали образцы руд и пород Олимпиадинского месторождения предметом исследования- особенности распределения минералов золотоносных ассоциаций.

Фактический материал представлен 8 образцами, отобранными автором в период прохождения производственной практики, из которых было изготовлено 8 шлифов. Основные методы исследований фактического материала – оптические, представленные исследованиями на поляризационном и электронном микроскопах.

Помимо прочего, были выполнены точечный рентгеноспектральный анализ и масс-

5

п e

с

Исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Национального исследовательского Томского государственного университета

Автор выражает благодарность своему научному руководителю кандидату геологоминералогических наук, доценту Архипову Александру Леонидовичу за оказанную помощь и поддержку в написании данной работы, доценту Тишину Платону Алексеевичу и сотрудникам Томского регионального центра коллективного пользования Корбовяку Евгению. Владимировичу и Рабцевич Евгении Сергеевне.

А также главному геологу Рудоуправления Олимпиадинского горнообогатительного комбината (ОГОК) АО «Полюс-Красноярск» Григоркевичу Евгению Васильевичу, главному геологу карьера «Восточный Рудоуправления Олимпиадинского горно-обогатительного комбината (ОГОК) АО «Полюс-Красноярск» Смирнову Александру Ивановичу за помощь и наставничество над автором в процессе прохождения производственной практики, материалы которой легли в основу данной работы.

#### ОБЩАЯ ЧАСТЬ

#### 1. Геологическая характеристика Олимпиадинского золоторудного месторождения

1.1. Экономико-географическая характеристика района работ

Олимпиадинское золоторудное месторождение в административном отношении расположено в Красноярском крае в 80 км на юго-запад от районного центра Северо-Енисейского района – городского поселка Северо-Енисейский (Рисунок 1)

Транспортное сообщение реализовано с помощью автодороги до ближайшей железнодорожной станции Лесосибирск, в 300 км юго-западнее месторождения

В Северо-Енисейском функционирует аэропорт, осуществляющий авиасообщение по направлениям Емельяново (Красноярск) и Толмачево (Новосибирск).

Режим работы предприятия: 365 дней, 2 смены, по 12 часов, вахтовым методом.

Район месторождения типичный среднегорный, таежный, заболоченный.

Климат района - резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха - 2,7 С, с амплитудой максимальных и минимальных температур от – 50 С до +35 С. Дней со среднесуточной отрицательной температурой воздуха - 209.

На промплощадке ветра преимущественно западные и юго-западные

Глубина промерзания на открытых местах до 3 м. Непосредственно на площадке ОГОК вечная мерзлота не обнаружена.

Севернее месторождения, на правом берегу ручья Олимпиадинский располагается вахтовый поселок Еруда, сохранивший название от расформированного в 2014 году поселка. Объекты ОГОК размещены в окрестностях месторождения на нескольких площадках, коммуникация по которым реализована с помощью автодорожной сети гравийным покрытием (Совмен, 2008).



#### 1.2 Геологическая изученность

Северо-Енисейский район, в котором расположено Олимпиадинское месторождение являясь одним из старейших регионов добычи золота на территории Сибири и по сей день сохраняет статус важного центра золотодобычи.

История его освоения начинается с сороковых годов девятнадцатого века, в то время были выявлены и начаты разработки первых богатых золотоносных россыпей.

Месторождения коренного золота были обнаружены значительно позднее - в 1883 г. (Эльдорадо) и в 1886 г. (Первенец). Наиболее крупным объектом золотодобычи в XX веке на территории Северо-Енисейского района являлся Советский рудник, открытый в 1908 году под именем Авенировского и выдававший от 1,5 до 2 тонн золота ежегодно.

История открытия Олимпиадинского месторождения начиналась с установления россыпной золотоносности в верховьях р. Енашимо по руч. Иннокентьевскому и Олимпиадинскому в 19 веке Проявление рудных метасоматически преобразованных пород было установлено после открытия Олимпиадинского рудопроявления сурьмы Гавриловым, Столяровым, (1944), Оленьего рудопроявления вольфрама Чаиркиным (1954) и Правобережного проявления ртути Петровым, (1955)

В 1964 г. В.А. Нелюбовым, Л.В. Ли при составлении прогнозной карты золотоносности, получены первые пробирные анализы метасоматических кварцитов Оленьего и Олимпиадинского рудопроявлений с содержаниями в единичных пробах, соответственно, 8,0 и 18,4 г/т.

В 1968 – 1974 годах Л.В. Ли и Г.П. Круглов занялись переопробованием сохранившегося керна скважин, пройденных при оценке Олимпиадинского сурьмяного рудопроявления, еще раз подтвердив золотоносность измененных пород.

Начатые в 1975 г. под началом В. А. Лопатина поисковые работы привели к открытию уникального Олимпиадинского золоторудного месторождения.

В период с 1965 по 1979 г. производились геологосъемочные работы масштаба 1: 50 000 в результате которых было уточнено геологическое строение площади, проведены площадное шлиховое, литохимическое и гидрохимическое опробование и на отдельных участках - поисковые работы. Геологоразведочные работы на месторождении проводились поэтапно: поисковые работы (1975-1977 гг.), поисково-оценочная стадия (1978-1980 гг.) и разведка (1981-1985 гг.; 1990-92 гг.). (Стороженко, Васильев, 2007)

#### 1.3 Стратиграфия



В геологическом строении Олимпиадинского рудного поля принимают участие стратиграфические подразделения протерозойского возраста (Рисунок 2):

Рисунок 2 – Геологическая карта Олимпиадинского рудного поля (по материалам В.В. Семеняко, 2010 г., В. А. Поперекова, 2012 г., с изменениями А. М. Сазонова, 2013 г.) (Сильянов, 2020 г.):

1 – Современные аллювиальные отложения пойм водотоков и техногенные образования: галька, гравий, пески, суглинки, илы, глыбы, щебень; 1–6 – рифей, Сухопитская серия: кординская свита: 2 - верхняя подсвита (RF<sub>2</sub> кd<sub>3</sub>), переслаивание высокоглиноземистыхгранат-кварц-биотитовых сланцев с силлиманитом, андалузитом и кианитом с кварцитами, кварц-биотитовыми и кварц-мусковитовыми сланцами со ставролитом; 3-5 - средняя подсвита (3–5): 3 – третья пачка ( $RF_2 \text{ кd}^3_2$ )переслаивание сланцев углеродсодержащих двуслюдяных с гранатом, кварц-полевошпат-биотитовых и кварц-полевошпат-биотитовых с гранатом; 4 – Вторая пачка ( $RF_2 \text{ кd}^2_2$ ), переслаивание кварц-карбонатно-слюдяных сланцев с мраморизованными известняками; 5 – первая пачка (RF<sub>2</sub> кd<sup>1</sup><sub>2</sub>), переслаивание сланцев биотитовых кварцитовидных, двуслюдяных с гранатом, слюдяных (метаалевритоглинистых) с кварцитами; 6 – нижняя подсвита, вторая пачка ( $RF_2 ext{ kd}^{1}_2$ ), 2), переслаивание кварцитов, известняков со сланцами (кварц-хлорит-мусковитовыми с гранатом, кварцхлорит-мусковитовыми, кварц-мусковитовыми); 7 – Татарско-Аяхтинский комплекс гранитовый: а – жильная фаза; б, в – первая фаза: б – граниты биотитовые мелкозернистые и крупносреднезернистые (у); в – скарны и скарноиды; 8 – текстуры и структуры магматических пород: а – граниты средне-крупнозернистые; б – граниты мелкозернистые; 9 – метаморфические образования, кварциты; 10 – геологические границы между разновозрастными подразделениями и образованиями разного состава внутри этих подразделений: а – достоверные; б – предполагаемые; 11 – разрывные нарушения: а – установленные по комплексу методов; б – предполагаемые; 12 – золоторудные тела месторождений рудопроявлений; 13 \_ элементы наклонного И залегания кристаллизационной сланцеватости, полосчатости; 14 – контуры карьеров; 15 – промышленная освоенность месторождений: а – разрабатываемые; б – полностью отработанные; 16 – полезные ископаемые: а – золото; б – вольфрам

Стратиграфическая схема Олимпиадинского рудного поля

Протерозойская акротема (PR)

Нижнепротерозойская эонотема (PR1)

Рифейская энотема (R)

Нижнерифейская эратема (RF1)

Сухопитская серия

Кординская свита (RF1kd)

Фанерозойская эонотема(FN)

Кайнозойская эратема (KZ)

K вартер(Q)

Ниже приводится подробное описание выделенных стратиграфических подразделений.

Нижнепротерозойская эонотема (PR<sub>1</sub>)

Рифейская энотема (RF)

Нижнерифейская эратема (RF1)

Сухопитская серия

В серии выделяется кординская свита, сложенная псаммито-алевритовыми отложениями.

#### Кординская свита (RF1kd)

Стратиграфический разрез представлен отложениями нижней ( $RF_1 \kappa d_1$ ), средней ( $RF_1 k d_2$ ) и верхней ( $RF_1 k d_3$ ) подсвит кординской свиты.

Нижняя подсвита ( $RF_1 \kappa d_1$ ), развита в южной части рудного поля и представлена второй пачкой, занимает сводовую часть Тырадинской антиклинали. В ее составе наибольшая часть приходится на кварцитовидные биотит-кварцевые роговиковоподобные сланцы коричневато-серого цвета с сиренево-фиолетовым оттенком. Среди них отмечаются пласты амфиболовых сланцев с отчетливым зеленым цветом. Нами предполагается их первично туфогенная природа базит-андезитового состава, по устоявшемуся мнению, геологов-съемщиков, относимых в регионе к индыглинскому комплексу. В составе толщи отмечаются незначительные по мощности (1-2 м) светло-серые, сиреневато-серые кварциты с отчетливой слоеватостью (Стороженко, Васильев, 2007).

Средняя подсвита (RF<sub>1</sub> kd<sub>2</sub>) является рудовмещающей, изучалась в многочисленных горных выработках. Она представлена серыми, зеленоватосерыми метаалевролитами с примесью карбонатного и углеродистого материала, существенно карбонатными породами и черными углеродистыми сланцами.

В разрезе сланцевой толщи В.А. Лопатиным, обобщившим в отчете материалы геологоразведочных работ верхних горизонтов, выделены четыре литологостратиграфических пачки (снизу вверх):

- первая пачка слюдисто-кварцевых сланцев ( $\mathbf{RF}_1 k d_2^1$ );
- вторая пачка слюдисто-кварц-карбонатных пород (RF<sub>1</sub> kd<sub>2</sub><sup>2</sup>);
- третья пачка углеродсодержащих слюдяных сланцев (RF<sub>1</sub> kd<sub>2</sub><sup>3</sup>);
- четвертая пачка слюдисто-кварцевых сланцев, верхняя (RF<sub>1</sub> kd<sub>2</sub><sup>4</sup>).

Первая пачка ( $RF_1 kd_2^1$ ) сложена зеленовато-серыми с коричневатым оттенком гранат-двуслюдяными, гранат-биотитовыми преимущественно кварцитовидными грубосланцеватыми полосчатыми сланцами. В различных участках рудного поля в их составе отмечаются ставролит, либо андалузит и кордиерит. В верхней части пачки развиты линзы массивных зеленовато- серых слюдистых кварцитов (Стороженко, Васильев, 2007).

Вторая пачка ( $RF_1 kd_2^2$ ) сложена тонко и широко полосчатыми слюдяными карбонатными сланцами серо-зелеными с коричневым (за счет биотита) оттенком. Преимущественно в верхней части пачки развиты мощные линзы серых, пепельно-серых мраморизованных известняков с незначительной (5-10 %) примесью шаровидного кварца и тонкочешуйчатого мусковита (Стороженко, Васильев, 2007).

Породы пачки являются основным рудовмещающим горизонтом и содержат разнообразную вкрапленность сульфидов, арсенидов и антимонидов. В связи с предрудным кальциевым метасоматозом в первично кварц-слюдяно-карбонатных сланцеватых породах появляются плагиоклаз, клиноцоизит, цоизит, гранат, роговая обманка, диопсид (Стороженко, Васильев, 2007).

В связи с вкрапленностью сульфидов, в породах пачки проявляется гнездовое окварцевание, мусковитизация, относимые нами к изменениям джаспероидного типа.

Третья пачка ( $RF_1 kd_2^3$ ) представлена черными кварц-слюдяными углеродистыми сланцами, иногда с гранатом, хлоритоидом, ставролитом. Породы пачки тонкополосчатые, иногда однородные. В контактовой части с нижележащей пачкой, породы обычно содержат кальцит, либо доломит. В углеродистых слюдяных сланцах, также как и в карбонатных породах нижележащей пачки, проявлен кальциевый (скарноидный) метасоматоз с наложением на метаморфогенный минеральный парагенезис метасоматических минералов - клиноцоизита, цоизита, сфена, гроссулярсодержащего альмандина, роговой обманки, диопсида, альбита, калишпата (адуляра и микроклина) (Стороженко, Васильев, 2007).

В пределах развития углеродистых пород иногда фиксируются рудные интервалы.

Четвертая пачка ( $RF_1 kd_2^4$ ) В состав четвертой пачки В.А. Лопатиным отнесены зеленовато-серые слюдяные часто с полевыми шпатами и гранатом кварцитовидные сланцы. Эти породы близки по составу с породами нижней пачки ( $RF_1 kd_2^1$ ), но по геологоструктурным построениям в геологоразведочных планах детальной разведки (Лопатин и др., 1984) эти пачки занимают обособленное положение (Стороженко, Васильев, 2007).

Породы свиты метаморфизованы в биотитовой субфации зеленосланцевой фации. В зонах контактов с гранитоидами они сканированы и ороговикованы, во фронтальных надвигов преобразованы мусковит-гранатовые динамосланцы, участках в пропилитизированы, березитизированы, графитизированы, сульфидизированы. В метасоматически измененных породах И динамосланцах свиты локализованы Раннерифейский месторождения И проявления золота. возраст пород свиты устанавливается по радиологическим данным: 1730 Ма по гравелитам свиты в разрезе р. Тея, 1595 Ма по сланцам свиты руч. Актолик (К-Аг метод) (Стороженко, Васильев, 2007).

На Олимипиаднинском месторождении в процессе изучения и разработки выделено четыре пачки пород:

- пачка слюдисто-кварцевых сланцев, нижняя (RF<sub>2</sub> кd<sup>1</sup><sub>2</sub>)

- пачка слюдисто-кварц- карбонатных пород (RF<sub>2</sub> кd<sup>2</sup><sub>2)</sub>

- пачка углеродсодержащих пород ( $RF_2 \kappa d^3_2$ )

- пачка слюдисто кварцевых сланцев, верхняя ( $RF_2 \kappa d^4_2$ )

Нижняя пачка слюдисто-кварцевых сланцев (RF<sub>2</sub> кd<sup>1</sup><sub>2</sub>) представленная слюдистокварцевыми сланцами серого, светло-серого цвета имеющая сланцеватую структуру (Стороженко, Васильев, 2007).

Пачка слюдисто-кварц - карбонатных пород (RF<sub>2</sub>κd<sup>2</sup><sub>2</sub>) карбонатно-слюдистокварцевых сланцев, мраморизованных известняков, биотит-карбонат-кварцевых, мусковит -кварцевых, гранат-пироксен-амфибол-эпидотовых метасоматических пород (Стороженко, Васильев, 2007).

Пачка углеродсодержащих пород ( $RF_2 \kappa d^3_2$ ) содержащих в своем составе углеродное вещество, в которой выделены кварц-мусковитовые углеродистые сланцы, часто с хлоритоидом, углеродистые мусковит-карбонат-кварцевые сланцы и метасоматиты того же состава, углеродсодержащие серицит-кварц-карбонатные и карбонатно-кварцевые метасоматические породы (Стороженко, Васильев, 2007).

Верхняя пачка слюдисто кварцевых сланцев ( $RF_2 \kappa d^4_2$ ) сложенна мусковит-биотиткварцевыми сланцами, в которых присутствует гранат (Стороженко, Васильев, 2007).

В границах месторождения выделено четыре рудных тела: Рудные тела 1, 2 и 3 расположены на Западном участке и залегают в лежачих, седлообразных складках северного крыла Медвежинской антиклинали, Рудное тело 4, отнесенное к Восточному участку располагается в околошарнирной части антиклинали и является наиболее крупным рудным телом месторождения, сосредоточив девять десятых всех запасов Олимпиадинского месторождения (Стороженко, Васильев, 2007).

Рудные тела выделены по данным опробования, так как четкие литологические границы отсутствуют.

Фанерозойская эонотема(FN)

Кайнозойская эратема (KZ)

#### K вартер(Q)

Представлен аллювиальными и техногенными отложениями Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы (Q<sub>H</sub>) широко распространены в бассейнах рек. Мощность отложений составляет от нескольких до первых десятков метров. Отдельные золотоносные участки отработаны и замещены техногенными образованиями. Россыпи золота, приуроченные к отложениям четвертичной системы, образованы за счет разрушения золотоносных пород кординской свиты, а также золотоносной коры выветривания. (Стороженко, Васильев, 2007)

#### 1.4 Магматические и метасоматические образования

1.4.1 Магматические образования

Магматические образования представлены породами Татарско-аяхтинского комплекса (Стороженко, Васильев, 2007) (Рисунок 2)

*Татарско-аяхтинский комплекс* (ү-үδRF<sub>3</sub>*ta*, ү<sub>2</sub> RF<sub>3</sub>*ta*). Выделено две фазы. В первую произошло внедрение средне-крупнозернистых, часто порфировидных амфиболбиотитовых, биотитовых гранитов и гранодиоритов, во вторую мелко-среднезернистых гранитов и лейкогранитов (Стороженко, Васильев, 2007).

Жильная серия представлена дайками аплитов, пегматитов и гранитов. Интрузии формируют тыловодужный магматический пояс. Изотопный возраст гранитоидов татарскоаяхтинского комплекса составляет 920- 962 Ма (Стороженко, Васильев, 2007).

Комплекс двухфазный. В первую произошло внедрение средне-крупнозернистых, часто порфировидных амфибол-биотитовых, биотитовых гранитов и гранодиоритов, во вторую — мелко-среднезернистых гранитов и лейкогранитов. Жильная серия представлена дайками аплитов, мелкозернистых гранитов и пегматитов. Интрузивы в пределах Большепитского синклинория сложены преимущественно гранодиоритами и меланократовыми гранитами (Стороженко, Васильев, 2007).

Граниты первой фазы — средне-крупнозернистые, часто порфировидные породы светло-серого цвета. Минеральный состав (%): кварц 25—30, плагиоклаз (An<sub>22</sub>-<sub>27</sub>) - 25-35, микроклин - 20-25, биотит - 5-10, роговая обманка - до 8. Вкрапленники плагиоклаза и микроклина размером до 3—4 см слагают 5- 35 % объема породы. Акцессорные минералы: альмандин, ильменит, сфен, циркон, апатит, рутил, анатаз, пирит. Гранодиориты (γδ<sub>1</sub>RF<sub>3</sub>*ta*) отличаются меланократовостью, меньшим содержанием кварца и повышенной основностью плагиоклаза (An<sub>27-35</sub>) (Стороженко, Васильев, 2007).

Граниты второй фазы - мелко-среднезернистые, иногда порфировидные породы. Минеральный состав (%): кварц - 30-40, микроклин - 30-35, плагиоклаз (An<sub>15-20</sub>) - 25-30, биотит - 2-5, роговая обманка - до 3. Акцессорные минералы: альмандин, ильменит, апатит, циркон, сфен, турмалин, торит. Лейкограниты характеризуются высокими содержаниями кварца (до 50 %) и низкими биотита (до 3 %) (Стороженко, Васильев, 2007).

В экзоконтактовых зонах интрузий вмещающие породы ороговикованы и скарнированы. В рифейских отложениях у пологих контактов ширина ореола роговиков достигает 2 км, с закономерной сменой мусковитовых и биотитовых роговиков гранатовыми, андалузитовыми, кордиеритовыми (Стороженко, Васильев, 2007).

В периферических зонах иногда наблюдаются хлоритоидно-биотитовые, а в

близинтрузивных — ставролитсодержащие парагенезисы. Среди роговиков залегают тела диопсидовых, эпидот-тремолитовых и эпидот-тремолит-диопсидовых и магнетитовых скарнов. В эндоконтактах и дайках гранитов второй фазы иногда формируются мусковит-кварцевые, мусковит-турмалин-кварцевые грейзеновые парагенезисы (Стороженко, Васильев, 2007).

Гранитоиды комплекса прорывают отложения кординской и горбилокской свит и прорваны субщелочными гранитами гурахтинского (711 Ma), лейкогранитами глушихинского (751 Ma) комплексов и перекрыты грубообломочными отложениями лопатинской свиты. Их изотопный возраст составляет 924— 942 Ma. На этом основании принимается позднерифейский возраст комплекса, относимого к образованиям гранитовой формации (Стороженко, Васильев, 2007).

С гранитами первой фазы татарско-аяхтинского комплекса связано скарновое магнетитовое оруденение, с дайками гранитов - грейзеновая вольфрамовая минерализация. (Стороженко, Васильев, 2007)

В пределах зон динамотермального метаморфизма проявлены гидротермальнометасоматические изменения. Наблюдается пространственная связь зон золоторудной минерализации и метасоматических изменений. Метасоматические преобразования вмещающих пород на Олимпиадинском месторождении широко проявлены, что обусловлено пестрым литологическим составом вмещающих пород и неоднократным разновозрастным гидротермально-метасоматическим процессом. Типичными изменениями пород рудно-минерализованной зоны являются кальциевый и кремнистый метасоматоз, рутилизация, турмалинизация, графитизация 32 (битумизация) и сульфидизация. Наиболее тесная пространственная связь золота характерна для сульфидизированных пород. (Сазонов и др., 2019).

В районе Олимпиадинского месторождения развит предрудный кальциевый метасоматоз. Карбоназированные породы приурочены к участкам милонитизации и переслаивания химически неоднородных литологических пачек углеродистых, карбонатных, силикатно-карбонатных и силикатных пород. Макроскопически эти породы практически неотличимы от неизмененных – в них сохраняется реликтовая полосчатость, цвет, зернистость, при этом отмечаются новообразования клиноцоизита, цоизита, титанита, граната, калишпата и альбита (Сазонов и др., 2019).

Кислотный метасоматоз вызвал появление локальных, небольших по мощности зон окварцевания, среди кислотных метасоматитов в пределах рудных тел отмечаются существенно кальцитовые породы, вероятно образовавшиеся в результате отгонки извести на фланги окварцованных пород. Некоторое распространение имеют участки с окварцованным мрамором \_ результатом кислотного выщелачивания железомагнезиальных породообразующих минералов. Кислотный метасоматоз внутрирудный, он проявился после образования игольчатого арсенопирита. Сульфидизация является основной причиной образования месторождения посредством метасоматоза и заполнения трещинного пространства вмещающих пород (Сазонов и др., 2019).

Минеральный состав метасоматитов, несущих золото-сульфидное оруденение, чаще всего имеет мусковит-кварц-кальцитовый состав со значительными вариациями содержаний этих минералов. Рудоотложение происходило в две стадии: ранняя — золотосульфидная (пирротин-пирит-арсенопиритовая) и золото-бертьерит-антимонитовая (поздняя) в интервале температур от 210-270° С (пирротин-пирит-арсенопиритовая ассоциация) до 150-180 °С (бертьерит-антимонитовая ассоциация) (Сазонов и др., 2019).

Основным концентратором золота является тонкоигольчатый арсенопирит. Который может присутствовать в скарноидах, кварц-карбонатных с клиноцоизитом, существенно кварцевых и существенно карбонатных метасоматитах, в то же время устойчивой корреляции между содержаниями метасоматических минералов и арсенопирита не наблюдается. (Сазонов и др., 2019).

#### 1.5 Геолого-структурная позиция месторождения

Рудное поле, к которому принадлежит Олимпиадинское месторождение, находится в северо-восточной части докембрийской байкальской складчатой области Енисейского кряжа в пределах Центрального антиклинория, или Центральной структурноформационной зоны (СФЗ) (Новожилов и др., 2014)



Рисунок 3 – Тектоническая схема Енисейского кряжа (Констанинов, 2010)

 антиклинории: Приенисейский (П), Центральный (Ц); 2 - Ангаро-Канский (АК) массив (антиклинорий); 3 - синклинории: И - Исаковский, АТ - Ангаро-Тисский, КЛ - Кордо-Лебяжинский, АП - Ангаро-Питский; 4 - впадины: ЧТ - Чапско-Тейская, В - Вороговская, Ч - Чернореченская, У - Уволжская; 5 - Енашиминское поднятие (Е); 6 - глубинные разломы: 1 - Приенисейский, 2 - Татарский, 3 - Ишимбинский, 4 - Анкиновский, 5 -Ангаро-Вилюйский; 7 - региональные разломы; 8 - антиклинали; 9 - синклинали; месторождения: I - Советское, 2 - Эльдорадо, 3 - Олимпиадинское, 4 - Благодатное, 5 -Ведугинское, 6 - Удерейское, 7 - Васильевское. Рудное поле месторождения расположено в субизометричном структурном блоке, ограниченном с СВ и ЮЗ крупными разломами СЗ простирания, входящими в систему Татарского глубинного разлома и являющимися крутопадающими сбросо-сдвигами. С Ю-ЮВ и СЗ рудное поле окружено гранитоидами Чиримбинского и Тырадинского массивов. предполагается, что рудное поле локализовано над провесом кровли крупного батолита, поверхностным выражением которого являются упомянутые массивы и их сателлиты (Сазонов и др., 2019).

Структура Олимпиадинского рудного поля определяется тремя сопряженными складками: Иннокентьевской и Чиримбинской синклиналями и расположенной между ними Медвежинской антиклиналью Складки имеют протяженность 4–5 км при размахе крыльев 1–2 км. Осевые поверхности этих складок ориентированы в-СВ направлении, а шарниры погружаются на В-ЮВ под углами от 25°–30° до 50°–80° В совокупности эти три складки формируют незамкнутую структуру W-образной формы, которая хорошо проявляется в магнитном поле. Косое (60°) положение их шарниров к СЗ простиранию региональных разломов дает основание предполагать их образование в связи с меняющимися смещениями по крупным СЗ разломам (Сазонов и др., 2019).

Медвежинская антиклиналь – главная рудовмещающая структура Олимпиадинского рудного поля. Шарнир складки В-СВ ориентировки погружается под углом 50–80°. Крылья складки сложены рудовмещающей пачкой кварц-слюдисто-углеродистых и кварц-карбонатслюдистых сланцев с линзовидными телами мраморизованных известняков, а ее ядро – стратиграфически нижележащими кварц-слюдистыми сланцами. Северное крыло складки имеет общее субширотное простирание, осложненное на Западном участке Олимпиадинского месторождения S-образным изгибом, а южное крыло – прямолинейное В-СВ направления. Оба крыла падают в ЮВ направлении под углами от 30 до 50°, при этом северное крыло имеет более крутые углы падения. Размах крыльев складки достигает 1,5–2,0 км. Основная часть запасов Олимпиадинского месторождения (Восточная Олимпиада) локализована в замке и прилегающих участках крыльев Медвежинской антиклинали. (Новожилов и др.,2014)

В рудном поле развиты разломы различных направлений с преобладающей ориентацией СЗ и СВ; менее развиты субширотные (З-В) нарушения. Разломы осложняют складчатую структуру рудного поля. Довольно многочисленны мелкие разрывные нарушения различных направлений, которые представлены крутопадающими сбросами и сбросо-сдвигами, в меньшей степени – взбросами. Также в складчатых структурах широко распространены зоны межпластового рассланцевания мощностью от первых до сотен метров, которые наиболее развиты на границах литологически отличающихся пачек и в ряде случаев контролируют рудную минерализацию. Структурно они близки осевому кливажу складок. (Сазонов и др., 2019)

#### СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

# Петрографические и минералогические исследования рудоносных метасоматитов Олимпиадинского золоторудного месторождения

Материалы для написания бакалаврской работы были отобраны в процессе прохождения производственной практики на карьере «Восточный» Олимпиадинского ГОК АО Полюс-Красноярск (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Геологический план карьера «Восточный» со схематическим отображением мест отбора образцов. (По материалам АО-Полюс Красноярск)

Отобранные образцы представляют собой углерод-силикатные сланцы и метасоматиты, преимущественно кварц-слюдянистого состава (Таблица 1).

Номер образца	Место отбора	Название				
1	гор. 530	Углеродистый силикатный сланец				
2	гор.530	Углеродистый силикатный сланец				
3	гор. 180	Слюдяной кварц-кальцитовый сланец				
4	гор. 190	Слюдяной кварц-кальцитовый сланец				
5	гор. 180	Слюдяной кварц-кальцитовый сланец				
6	гор. 130	Слюдисто-кварц-карбонатный метасоматит				
7	гор. 130	Слюдисто-кварц-карбонатный метасоматит				
8	гор. 120	Двуслюдяной гранатовый кварц-кальцитовый метасоматит				

Таблица 1 – Перечень исследуемых образцов

Для изучения свойств и особенностей рудоносности проведено петрографическое исследование шлифов горных пород, исследование шлифов с помощью электронного микроскопа и определен геохимический состав методом ICP-MS.

#### 2.1 Петрографические исследования горных пород

Материалом для изучения стали шлифы, изготовленные в шлифовальной лаборатории ТГУ

Микроскопическое изучение произведено с использованием поляризационного микроскопа Leica DM EP, фотографии отдельных фрагментов шлифов были выполнены с с помощью микроскопа AxioScop 40. Приведенные на фотографиях единицы измерениямикрометры 1µm=0,001 мм).

Основываясь на схожести минерального состава и структурно-текстурных особенностей автором выделены группы образцов, для которых произведено общее микроскопическое описание пород с выделением специфических признаков.

#### Углеродистые силикатные сланцы

Образцы пород имеют черную окраску, тонкосланцеватую текстуру, зачастую микроструктура бластомилонитовая

Микроскопически порода характеризуется углеродисто-кварц-серицитовым составом с подчиненным количеством карбонатов. Структура основной массы гранолепидобластовая, текстура сланцеватая.

Основная масса породы сложена тонкочешуйчатыми выделениями серицита, среди которых развивается микрозернистый мозаичный кварц. В подчиненном количестве присутствует углеродистое вещество, кальцит и чешуйки хлорита. (Рисунок 4)

Кварц слагает 40% породы. Зёрна кварца сильно уплощены и ориентированы в одном направлении с размерами 0.1x0.2 мм, 0.5x0.1 мм. Для кварца характерно прямое, облачное погасание. Распределение в породе равномерное, крупные зерна кварца образуют небольшие скопления.

Серицит присутствует в количествах до 30%. Имеет форму тонких чешуек, длиной от 0,02 до 0,1 мм.

Биотит слагает менее 5% породы. Образует чешуйки коричневою цвета. Размер чешуек 0,05х0,1 мм в среднем. Диагностируется по плеохроизму, от бледно-коричневого до бурого цветов.

Хлорита в породе первые проценты образует чешуйки размерами 0,01x0,05 мм. Диагностируется по плеохроизму от бесцветного до бледно-зелёного цвета, а также по чернильно-синим интерференционным окраскам.

Породы интенсивно пигментированы углеродистым веществом, присутствует прожилковая и вкрапленные пирротин-пиритовая минерализация.



Рисунок – 5 Углеродистые кварц-серицитовые сланцы (бластомилонит).(Фото автора)

#### Слюдяные кварц-кальцитовые сланцы

Имеют Темно-серую/серую окраску сланцеватую текстуру, Микроструктуры лепидогранобластовые, гранолепидобластовые и порфиробластовой структур породы. Размер зернистости породы 0,02-0,06мм.

Основная масса пород сложена агрегатами чешуйчатых слюд, гранобластовыми выделениями кварца, подчиненным количеством гранатов, хлорита и углеродистого вещества.

Основная масса пород сложена кварцем 30-40%. Зёрна кварца имеют различную форму, от уплощенных до субизометричных с размерами 0.1x0.2 мм до 0.5x0.1 мм, кальцитом (25-30%), мусковитом сложено до 25% породы, с премущественно чешуйчатыми агрегатами, часто минерал развивается в виде псевдоморфоз по биотиту (5–35%) который бразует чешуйки коричневого цвета. Размер чешуек 0,05x0,1 мм в среднем.

Углеродистое вещество представлено тонкораспыленными частицами в основной массе породы, формирующими волнистые полосовидные скопления

Активно развита сульфидная минерализация, текстуры руд вкрапленные, прожилково-гнездовые.

Для двуслюдяных кварц-кальцитовых сланцев характерно появление сегрегационных прожилков и гнезд кальцита с укрупнением зерен минерала в 5–10 раз. (Сазонов и др., 2019) (Рисунок 6)



Рисунок – 6 Сегрегационный прожилок в слюдяном кварц-кальцитовом сланце, выполненный кальцитом с развитым по нему агрегатом бертьерита. (Фото автора)

Присутствуют участки с развитой плойчатой текстурой (Рисунок 7) и окварцеванием (Рисунок 7)



Рисунок – 7 Слюдяной кварц-карбонатный сланец с плойчатой текстурой. (Фото

автора)



Рисунок – 8 Слюдяной кварц кальцитовый сланец, подвергнутый окварцеваннию. (Фото автора)

#### Двуслюдяной гранатовый кварц-кальцитовый метасоматит.

Окраска серая. Микроструктуры основной массы преимущественно гранобластовые, гранолепидобластовые, с массивной либо прожилковой текстурой, обусловленной развитием тонких поздних прожилков кварца и карбонатов мощностью от десятков микрон до первых миллиметров.

Микроскопически порода характеризуется карбонатно-кварц-серицитовым составом, Структура основной массы породы лепидогранобластовая, текстура – сланцеватая. Основная масса породы сложена мозаичными зернами кварца и карбонатов, - пластинчатыми выделениями мусковита, в подчинённом количестве присутствует биотит. (Рисунок 9).



Рисунок – 9 Двуслюдяной гранатовый кварц-кальцитовый метасоматит. (Фото автора)

#### Слюдисто-кварц-карбонатные метасоматиты.

Окраска светлая, сероватая до белой, сахаровидного облика, Микроструктуры основной массы преимущественно гранобластовые, гранолепидобластовые, с массивной либо прожилковой текстурой, обусловленной развитием тонких поздних прожилков кварца и карбонатов мощностью от десятков микрон до первых миллиметров. (Рисунок 9)

Сложены в основном кальцитом 40-50%, кварцем 40-50% примесь слюд не превышает 10%, местами присутствует хлорит



Рисунок – 10 Слюдисто-кварц-карбонатный метасоматит. (Фото автора)

Основная ткань породы выполнена мозаичными, очертания зерен полигональноизвилистыми зернами кварца и карбонатов, среди которых присутствует слюдистый материал, представленный разноориентированными, субсогласными пластинками мусковита.

Мозаичные, субизометричные зерна кварца распределены неравномерно, образуя участки с повышенной локализацией.

#### 2.2. Растровая электронная микроскопия

Растровая электронная микроскопия выполнена на базе аналитического комплекса сканирующего электронного микроскопа VEGA 2 LMU совмещенного с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром модели INCA Energy 350.

Аналитик – инженер-исследователь Евгений Корбовяк

На рисунках представлены снимки различных минералов, выявленных в результате исследования на растровом электронном микроскопе.

#### Сегрегационный прожилок в слюдяном кварц-кальцитовом сланце (Образец 3)

На данном образце фиксируется четкая сульфидная минерализация поздних стадий рудообразования (сурьмяная) выраженная в наличии таких минералов как бертьерит, джемсонит и тетраэдрит (Рисунок 10).



Рисунок – 10 Микрофотографии сегрегационного прожилка в слюдяном кварцкальцитовом сланце (Образец 3) Основная масса сложена кальцитом Тетр-тераэдрит, Брт-бертьерит, Джмс-джемсонит Приведенные на фотографиях единицы измерениямикрометры 1µm=0,001 мм).

#### Слюдисто кварц-карбонатный сланец (Образец 4)

На образце происходит пересечение ранней и поздней сульфидной минерализации(сурьма) (мышьяк), выражающееся в присутствии сульфидов, характерных для обеих стадий.

На это указывает развитие по пириту сульфидов полиметаллов, характерных для поздней стадии (ульманит, сфалерит).

Так же в образце 4 был выявлен собственный минерал РЗЭ – Синхизит (Рисунок 11).



Рисунок – 11 Микрофотографии Слюдисто кварц-карбонатного сланца (Образец 4) Основная масса сложена кварцем Приведенные на фотографиях единицы измерениямикрометры 1µm=0,001 мм).

#### Слюдисто-кварц-карбонатный метасоматит (Образец 6)

В образце обнаружены минералы, характерные ранней стадии рудообразования,

представленные пиритом и арсенопиритом (Рисунок 12).



Рисунок – 12 Микрофотографии Слюдисто-кварц-карбонатного метасоматита (Образец 6) Основная масса сложена кварцем и кальцитом. Приведенные на фотографиях единицы измерения- микрометры 1µm=0,001 мм).

В результате проведения интерпретации результатов РЭМ изучен широкий спектр рудных минералов в виде выделений микронной размерности и проанализирован их состав, на основе чего можно сделать вывод, подтверждающий данные предшественников о преимущественной локализации поздней стадии рудообразования в Южном блоке Олимпиадинского Восточного, и широкой распространенности ранней, золотомышьяковой стадии рудообразования на глубоких горизонтах месторождения.

#### 2.3 Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой

Определение геохимического состава проведено методом ICP-MS методикой «СТО ТГУ 048-2009 – методика определения элементного состава горных пород методом массспектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (Рисунок 13, Таблица 2).

Аналитик – инженер-исследователь Е. С. Рабцевич.

Объектом изучения являются 8 образцов руд и пород Олимпиадинского месторождения, отобранные автором на производственной практике.



Рисунок 13 – Диаграмма распределения редких и редкоземельных элементов в образцах пород и руд Олимпиадинского месторождения. Кларк – средний валовый состав земной коры по А. Е. Ферсману (Войткевич, 1977).

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	3К
Be	0.18	2.62	0.23	1.92	1.82	0.85	3.60	0.79	4
B	38,21	35,59	40,96	222,11	29,98	5,75	20,55	180,62	50
Sc	3,30	11,89	3,34	17,26	23,56	0,69	4,40	10,05	6
Ti	873,14	3868,8	524,71	5111,9	1414,1	253,94	492,46	2748	6100
V	89,20	2976,3	7,99	140,02	55,43	4,55	72,62	54,50	200
Cr	111,35	194,81	9,91	78,80	29,79	14,72	26,93	81,74	300
Mn	1596,2	53,82	1020	123,06	434,09	703,94	67,28	11617	1000
Со	33,67	15,40	3,92	4,77	11,20	8,22	4,91	57,09	20
Ni	29,43	79,94	3,01	58,54	68,43	9,12	20,15	27,41	100
Cu	58,22	127,64	5,31	116,58	143,56	65,67	26,50	126,44	100
Zn	50,26	272,96	8,69	66,15	53,79	54,34	21,17	125,82	200
Ga	1,19	27,17	2,37	9,79	1,57	0,79	8,00	3,61	1
Rb	2,16	114,99	19,42	173,53	12,43	3,36	120,74	103,45	80
Sr	86,79	117,48	98,73	76,89	33,88	89,25	44,70	255,18	350
Y	23,57	47,40	43,99	16,75	32,11	2,81	4,62	19,05	50
Zr	36,27	135,48	17,77	129,16	38,25	3,19	10,67	30,27	250
Nb	0,53	8,85	1,11	12,15	4,93	1,95	7,68	9,61	0,32
Мо	11,54	113,89	0,19	0,67	2,93	3,11	29,72	0,57	10
Cd	0,41	7,23	0,12	0,16	0,11	0,15	0,30	0,13	5
Cs	0,33	7,87	1,14	9,82	2,12	0,37	32,10	10,91	10
Ba	21,67	2590,9	190,87	560,06	40,69	21,02	423,65	199,16	500
La	17,74	39,05	12,32	55,91	25,73	2,69	9,65	20,05	6,5
Ce	27,73	63,28	17,57	91,34	48,52	5,02	16,36	42,16	29
Pr	3,64	9,25	2,89	12,49	6,08	0,56	1,84	4,77	4,5
Nd	15,12	38,84	13,34	51,35	27,03	2,14	6,66	19,86	17
Sm	3,65	8,27	3,63	10,29	7,13	0,43	1,20	4,80	7
Eu	0,53	1,70	0,74	0,85	1,12	0,14	0,32	0,79	0,2
Gd	3,13	7,13	3,65	7,05	6,89	0,40	0,96	3,94	7,5
Tb	0,55	1,20	0,87	0,89	1,13	0,07	0,14	0,69	1
Dy	3,03	6,45	5,34	3,41	5,41	0,40	0,70	3,42	7,5
Но	0,77	1,54	1,33	0,56	1,06	0,10	0,15	0,71	1
Er	2,38	4,34	3,88	1,51	2,61	0,29	0,43	1,66	6,5
Tm	0,47	0,79	0,76	0,25	0,42	0,06	0,08	0,25	1
Yb	3,33	4,99	4,91	2,03	2,56	0,38	0,50	1,52	8
Lu	0,51	0,66	0,55	0,24	0,31	0,05	0,06	0,19	1,7
Hf	0,87	3,37	0,45	3,20	0,85	0,09	0,34	0,67	4
Та	0,12	0,88	0,46	0,99	0,28	0,05	0,01	0,29	0,25
W	2,77	7,69	2,56	14,10	5,36	2,43	8,02	5,91	70
TI	0,17	3,61	0,11	0,88	0,18	0,01	1,00	0,97	0,1
Pb	82,94	127,95	4786,8	7,60	93,59	25,33	17,00	18,30	16
Th	7,17	11,18	1,39	12,72	3,76	0,75	1,53	6,72	10
U	8,53	24,50	0,25	2,36	1,06	0,07	0,40	1,24	4

Таблица 2 – Результаты масс-спектрометрии по методике СТО ТГУ 048-2009, г/т

Содержания редких элементов в исследованных образцах зачастую не превышают кларковые, однако наблюдаются повышенные концентрации таких элементов как Pb, Nb. Содержание Pb от 7,6 до 4786,772 ppm. Содержание Nb изменяется в пределах от 0,5 до 12,1 ppm. Содержание Ga колеблется в пределах от 0,7 до 27,1 ppm.

Для отдельных пород характерны аномально высокие значения элементов (Рисунок 13):

Для углеродистых силикатных сланцев: V (2976,3 ppm) Ba (2590,9 ppm), Mn (1596,2 ppm) Zn (272,9 ppm), Mo (113,8 ppm), U (24,5 ppm),

Для двуслюдяного гранатового кварц-кальцитового метасоматита: В (180,6 ppm), Mn (11616,5 ppm)

Аномально высокие значения марганца, возможно связаны с его характерной концентрацией в черносланцевых породах и последующей миграцией под воздействием метасоматических процессов.

Повышенные концентрации свинца являются одним из свидетельств стадии сульфидов полиметаллов, занимающей промежуточное положение между ранней, золотомышьяковой стадией рудообразования и поздней, сурьмяной.

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	3К
La	74,85	164,75	51,97	235,91	108,56	11,34	40,72	84,58	27,43
Ce	45,31	103,39	28,71	149,25	79,28	8,21	26,74	68,89	47,39
Pr	38,27	97,37	30,46	131,46	64,01	5,89	19,37	50,17	47,37
Nd	32,37	83,16	28,57	109,96	57,88	4,58	14,27	42,53	36,40
Sm	23,83	54,07	23,72	67,23	46,61	2,83	7,83	31,36	45,75
Eu	9,11	29,37	12,83	14,72	19,28	2,41	5,60	13,58	3,45
Gd	15,22	34,70	17,77	34,29	33,51	1,93	4,69	19,19	36,50
Tb	14,62	32,14	23,23	23,83	30,31	1,88	3,81	18,48	26,74
Dy	11,92	25,41	21,00	13,42	21,30	1,57	2,76	13,45	29,53
Но	13,54	27,23	23,54	9,98	18,65	1,73	2,71	12,54	17,67
Er	14,40	26,24	23,46	9,15	15,76	1,77	2,60	10,01	39,27
Tm	18,50	30,81	29,92	9,96	16,66	2,27	2,97	9,82	39,22
Yb	19,61	29,38	28,87	11,95	15,05	2,26	2,95	8,94	47,06
Lu	20,19	26,08	21,62	9,59	12,08	2,08	2,54	7,37	66,93
Ce/Ce*	0,80	0,79	0,70	0,81	0,92	0,95	0,89	1,02	
Eu/Eu*	0,47	0,66	0,62	0,29	0,48	1,01	0,89	0,54	

Таблица 3 – Содержание редкоземельных элементов, нормированных к хондриту C1 хондрита [Sun, McDonough, 1989]

Наибольшие значения концентрации демонстрируют (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd) и пониженные, относительно кларковых, содержания тяжёлых (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) (Рисунок 14, Таблица 3).

Наблюдается тенденция к снижению значений концентрации редкоземельных элементов по мере смещения от верхних горизонтов к нижним. Наибольшие значения концентрации демонстрируют легкие лантаноиды, значения тяжелых лантаноидов в основном ниже кларковых.



Рисунок 14 – Диаграмма распределения РЗЭ в образцах пород и руд Олимпиадинского месторождения, нормированных к хондриту С1 хондрита [Sun, McDonough, 1989]. ЗК – средний валовый состав земной коры по А. Е.Ферсману (Войткевич, 1977).

Выводы:

Нормированные на хондрит (McDonough, Sun, 1989) все изучаемые породы демонстрируют пологую форму распределения редкоземельных элементов. Наибольшие значения концентрации демонстрируют легкие лантаноиды, значения тяжелых лантаноидов в основном ниже кларковых Подобная форма хондрит нормированных спектров и низкие содержания лантанидов могут указывать на вовлечение в процесс рудообразования метаморфогенного флюида(Сазонов, 2019)

Распределения редкоземельных элементов, нормированных к хондриту, в образцах кварц-биотит-серицитовых сланцев характеризуются подобными спектрами

распределения, отличающимися друг от друга только суммарными содержаниями (Рисунок 14).

Наиболее подверженные метасоматическим изменениям породы демонстрируют самые низкие значения содержаний РЗЭ, что свидетельствует о наибольшем выносе данных элементов из данных пород в результате метасоматических процессов.

Углеродистые и сланцы очевидно претерпевали менее продолжительное и интенсивное метасоматическое воздействие, о чем свидетельствуют более высокие значения концентрации редкоземельных элементов

Нормированные на хондрит (McDonough, Sun, 1989) все изучаемые породы демонстрируют пологую форму распределения редкоземельных элементов. Наибольшие значения концентрации демонстрируют легкие лантаноиды, значения тяжелых лантаноидов в основном ниже кларковых. Подобная форма хондрит нормированных спектров и низкие содержания лантанидов могут указывать на вовлечение в процесс рудообразования метаморфогенного флюида (Сазонов, 2019).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования проведено петрографическое и минералогическое исследование имеющихся в наличии образцов пород: определен их минералогический состав, структурно-текстурные особенности, проанализировано распределение химических элементов.

В результате проведения интерпретации результатов РЭМ изучен широкий спектр рудных минералов в виде выделений микронной размерности и проанализирован их состав, на основе чего можно сделать вывод, подтверждающий данные предшественников о преимущественной локализации поздней, сурьмяной стадии рудообразования в Южном блоке Восточного участка Олимпиадинского месторождения, и широкой распространенности ранней, золото-мышьяковой стадии рудообразования на глубоких горизонтах месторождения.

Наиболее подверженные метасоматическим изменениям породы демонстрируют самые низкие значения содержаний РЗЭ, что свидетельствует о наибольшем выносе данных элементов из данных пород в результате метасоматических процессов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бетехтин А. Г. Курс минералогии: учебное пособие – М.: КДУ. – 2007. – 720 с.

Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С. Краткий справочник по геохимии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М //Недра. – 1977. – 186 с.

Константинов М. М. Золоторудные месторождения России – М.: Акварель. – 2010. – С. 349.

Новожилов Ю.И. Уникальное промышленное золото-сульфидное месторождение Олимпиада в верхнепротерозойских терригенных отложениях / Ю.И Новожилов., А.М Гаврилов., С.В Яблокова., В.И Арефьева // Руды и металлы. 2014. № 3. С. 51-64

Сазонов А. М. Рудогенез месторождения золота Олимпиада (Енисейский кряж, Россия) / А. М. Сазонов, Е. А. Звягина, С. А. Сильянов и др.// Геосферные исследования. – 2019. – № 1. – С. 17-43

Сильянов С. А. Геология и минералого-геохимические индикаторы генезиса золоторудного месторождения Олимпиада (Енисейский кряж): дис. на соискание степени канд. геол-минерал.наук – Сибирский федеральный университет, 2020 – 123 с..

Скублов С. Г. Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. – СПб.: Наука, 2005. – 147 с.

Совмен В.К. Геологическое строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полюс» в Красноярском крае. /В.К. Совмен, А.А. Страгис, А.А. Плеханов, С.М. Бибик, С.И. Кровякова и др. Версо, Красноярск, 2009 г., 208 с 2009. – 208 с.

Стороженко А.А., Васильев Н.Ф., Динер А.Э. и др. Государственная геологическая карта РФ, масштаб 1:200000, изд. 2-е, сер. Енисейская, лист 0-46-III (зим. Кушма). Объяснительная записка /СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ,2007. 158с +1 вкл. (МПР России, ФГУГП «Красноярскгеолсъемка»). – 1 лист.

Sun S.S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In A. D. Saunders & M. J. Norry (eds.) // Magmatism in the Ocean Basins, 1989, Geological Society Special Publication. London, p. 313-334.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

#### ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Коробейников Петр Александрович Самоцитирование рассчитано для: Коробейников Петр Александрович Название работы: Петрография и минералогия рудоносных метасоматитов Олимпиадинского золоторудного месторождения (Красноярский край) Тип работы: Выпускная квалификационная работа Подразделение: Геолого-географический факультет

-					
1	ЗАИМСТВОВАНИЯ		24.16%	ЗАИМСТВОВАНИЯ	0%
<b>د</b> '	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		71.48%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	90.48%
5	ЦИТИРОВАНИЯ	•	4.36%	ЦИТИРОВАНИЯ —	9.52%
3 <u>y</u> .	САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%
Б	ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕ	РКИ: 04.06.2021		ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТ	ГИРОВКИ: 04.06.2021 18:37

#### Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования издательства Wiley (RuEn); eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ; Медицина; Диссертации НББ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по Интернету; Патенты СССР, РФ, СНГ; СМИ России и СНГ; Шаблонные фразы; Модуль поиска "ТГУ"; Кольцо вузов; Издательство Wiley; Переводные заимствования

Работу проверил: Архипов Александр Леонидович

ФИО проверяющего

Дата подписи:

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет. Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.