

Российский Государственный Геологоразведочный Университет
имени Серго Орджоникидзе
(МГРИ)

На правах рукописи



ДО МИНЬ ФЫОНГ

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОНОСНОЙ
МЕДНОЙ И УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ КОН РА
ПРОВИНЦИИ КОНТУМ, ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА**

Специальность 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Игнатов Петр Алексеевич

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель: **Игнатов Петр Алексеевич**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, зав. кафедрой геологии мпи МГРИ

Официальные оппоненты: **Раткин Владимир Васильевич**
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
рудно-магматических систем отдела
минерагении ФГБУН ДВГИ ДВО РАН

Бурмистров Алексей Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры геологии, геохимии и
экономики полезных ископаемых
Геологического факультета МГУ имени М.В.
Ломоносова

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Российский Университет
Дружбы Народов» (РУДН)

Защита диссертации состоится «23» июня 2022 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.364.02 при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (ауд. 473).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке МГРИ и на сайте Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.364.02

 С.Д. Ганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Районы Центрального Вьетнама рассматриваются в качестве перспективных на обнаружение стратегически важных месторождений золота, олова, меди, урана и др. В одном из них Кон Ра, расположенном в провинции Контум, находится одноименное рудопоявление меди, золота и урана. Здесь сульфидная минерализация обнаружена в 2019 году в процессе проведения геологических маршрутов и бурения мелких скважин. Первоначальные результаты показали, что Cu-U-Au минерализация располагается в протерозой-кембрийских метаморфических породах комплекса Хамдык. Проведенные расчистки и бурение оценочных скважин выявили многообещающую перспективу рудопоявления. Однако, рудоконтролирующие структуры и механизм их формирования не были определены. Решение этих вопросов необходимо для эффективного проведения поисково-оценочных и разведочных работ.

Целью исследования является выявление геологических условий локализации и, прежде всего, тектонических структур, контролирующих распределение Cu-U-Au оруденения в районе Кон Ра, провинции Контум.

Задачи исследований: включают.

- изучение геологического строения района и истории его развития, включая выделение этапов тектонических деформаций;
- выделение структур ранга потенциальных рудных узлов, полей и месторождений;
- установление закономерностей распределения концентраций Cu, Au и U на участке рудопоявления Кон Ра на основе анализа структурных факторов, контролирующих рудную минерализацию, обоснование модели рудообразования;
- изучение вещественного состава Cu, Au и U руд, установление последовательности их образования и представление концепции происхождения.

Фактический материал и личный вклад автора. Исследовательская работа основана на материалах, полученных в результате проведения геологоразведочных работ на площади рудопоявления Cu-U-Au Кон Ра, в которых автор участвовал в полевых и камеральных условиях, описывая обнажения и керн поисковых скважин и создавая геологические и структурные карты. Отбор проб произведен автором по рудным интервалам и вмещающим породам в основном из керна и, меньше, из естественных обнажений.

Образцы, шлифы и аншлифы в количестве 60 шт., геохимические анализы по 418 пробам, изотопы серы в количестве 6 проб изучены автором в лабораториях Вьетнамского института геологии и минералов, МГРИ и ЦНИГРИ. В статистической обработке использован Microsoft office.

Автором использованы и проанализированы геологические карты масштабов от 1:100 000, 1:50 000 до 1:10 000; карта магнитного поля масштаба 1: 50 000; данные аэрогамма-съемки масштаба 1:50 000; пешеходная гамма-съемка масштаба 1: 10 000; профильная электроразведка и результаты каротажа по 9 наклонным скважинам оценочного бурения глубиной от 100 м до 300 м, результаты ультразвукового зондирования телевьювером стенок скважин; массовые замеры трещин на обнажениях и их обработка для реконструкции тектоно-динамических условий.

В работе использованы опубликованные и фондовые материалы по району Кон Ра и прилегающим площадям Центрального Вьетнама.

Материалы по геологии и полезным ископаемым района Кон Ра использованы автором с согласия Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама в соответствии с официальным письмом № 3378 / DCKS-DC от 3 декабря 2020 года.

Методическая основа исследования включала следующее.

Анализ и интерпретация топографии местности на основе спутниковых данных с использованием программы Surfer-13. Анализ растительности и поверхностного покрова проводился на основе анализа изображений дистанционного зондирования Landsat 8 с помощью программы SAGA-GIS.

Для определения геологических структур района, ключевых факторов и стадий тектонических деформации, рудоконтролирующих структур автор использовал: данные геологических карт в программе Quantum GIS (QGIS 3.9); обработку и интерпретацию данных магнитной съемки с помощью программы КОСКАД 3D; результаты электропрофилирования (профильная электроразведка, выполненная методом ЭЭП четырехэлектродной установкой); и каротажные диаграммы (сопротивление, естественная гамма-активность, гамма-спектрометрия, инклинометрия, ультразвуковое зондирование – телевьюер).

Полевые исследования проводились на участке рудопроявления Кон Ра и прилегающих площадях для описания геологического строения и тектонических деформаций, изучения распределения Cu-U-Au минерализации и отбора проб. Построение сферических проекций азимутов простирания и углов падения трещин выполнено с использованием программного обеспечения HiRAT фирмы ROBERTSON, Великобритания, 2014 г. В методе скважинного телевьюера (televiewers) используется система визуализации ATV (Acoustic televiewers), использующей конфигурацию ультразвукового импульсного эхо-сигнала с частотой 0,5 – 1,5 МГц. Время распространения и амплитуда отраженного звукового сигнала фиксируются в виде снимка с высоким разрешением. Полученное изображение скважины проецируется на плоскость с севера на юг. Обнаруженные трещины имеют форму волны, отражая график синусоидальной функции.

Проведены петрографические, минералогические и геохимические исследования по авторской коллекции образцов керна и образцов, отобранных из обнажений. Элементный анализ выполнен с использованием ICP-MS и атомной абсорбции по результатам рядового опробования в количестве 374. Геохимическая взаимосвязь рудных компонентов была установлена с помощью многомерного статистического корреляционного анализа в программном пакете Statistica. Изотопный анализ серы выполнен под руководством доктора геол.-минерал. наук С.Г. Кряжева в институте ЦНИГРИ. Подготовка проб и большая часть анализов выполнены в лаборатории Вьетнамского института геологии и минералов. Анализ изотопного возраста методом U-Pb по цирконам и Rb-Sr по серициту проведен в Пекинской академии наук.

Для анализа распределения редких, редкоземельных, рассеянных и радиоактивных элементов (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Y, Yb,

Ba, Rb, Co, Cr, Ga, Li, Nb, Ni, Sr, Ta, V, Hf, Zr, U, Th, Ti), использовалось программное обеспечение набора инструментов Geochemical Data (GCDkit 4.1).

Научная новизна исследований определяется следующим.

В результате исследований получены новые данные о геологическом строении потенциального рудного района Кон Ра в центральном Вьетнаме и условиях локализации в пределах одноименного рудопроявления Cu, Au и U, которое представляется потенциальным месторождением.

В перспективном рудном районе Кон Ра центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных комплексами метаморфических пород протерозоя-кембрия и интрузиями триасовых гранитов, которые отличаются составом и строением вулканогенно-осадочно-метаморфических пород.

В истории геологического развития района выделено три этапа: протерозой-кембрийский регионального метаморфизма вулканогенно-осадочных пород; силурийский локального термометаморфизма с частичным переплавлением пород; триас-юрский тектоно-магматической активизации. Предполагается, что в каждом этапе преобладали различные региональные деформации: в протерозое-кембрии – сжатие с образованием складок; в силуре анатексис и формирование гранито-гнейсовых куполов и валов; в триасе и юре – внедрение гранитов и даек разного состава, формирование скарнов и хрупких деформаций в зонах взбросов и сдвигов и, вероятно, сформировалась рудная минерализация.

На участке рудопроявления Кон Ра золото-медная сульфидная минерализация представлена тремя крутопадающими линзовидными рудоносными зонами, протяженными в северо-восточном направлении и залегающими субпараллельно и кулисообразно. Оруденение локализовано в тектонических брекчиях и катаклазитах, нарушающих скарнированные осадочно-метаморфические породы докембрийско-кембрийского возраста. Дорудные скарны сформировались на активном контакте мраморов, чередующихся с кристаллическими сланцами комплекса Хамдык, и второй фазы триасовых гранитов комплекса Хайван. Золото-медная минерализация находится в экзоскарнах, осложненных плитообразными апофизами гранитов, и преимущественно локализована в наиболее хрупких диопсидовых и тремолитовых мраморах.

По результатам геологического картированию, наблюдениями в обнажениях и керне оценочных скважин и стереографическому анализу тектонических трещин обоснована рудовмещающая структура золото-медного потенциального месторождения Кон Ра в виде крутопадающей pull-apart зоны правого взбросо-сдвига.

Урановая минерализация представлена линзами и гнездами. Ее ореол частично перекрывается с ореолом золото-медных концентраций. Она сопровождается кварц-серицитовыми метасоматитами и пространственно связана с дайками кислого состава юрского возраста, имеющими радиогеохимическую специализацию.

Диагностирован минеральный состав руд, включающих пирротин, пирит, халькопирит, молибденит, магнетит, мартит, гематит, кубанит, марказит, золото, ксенотим, сфалерит, уранинит, графит, халькозин, ковеллин, гетит, малахит и лимонит. Намечена схема последовательности минералообразования. Результаты ICP MS первичных руд показали, что, помимо меди, имеются концентрации Au, U, Ag, Co, Mo,

Zn, Ni, V, Y, La и As. Установлена положительная корреляция между Cu, U и Au.

Защищаемые положения:

1. По геолого-геофизическим данным в перспективном рудном районе Кон Ра центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных отличающимися по составу и строению комплексами осадочно-метаморфических пород протерозоя-кембрия и интрузиями силурийских и триасовых гранитов, Потенциальное месторождение с U-Au-Cu минерализацией расположено в блоке, включающем метакarbonатные породы, относительно большие интрузии триасовых коллизионных гранитов S-типа, связанные с ними скарны и юрские дайки.

2. Потенциальное U-Au-Cu месторождение представлено серией субпараллельных линзовидных рудоносных залежей тектонических брекчий, которые локализованы в экзоскарнах и контролируются взбросо-сдвиговой структурой типа pull-apart zone, которая обоснована результатами геологического картирования, наблюдениями в обнажениях, керне оценочных скважин, аншлифах и стереографического анализа тектонических трещин.

3. Минеральный состав руд рудопроявления Кон Ра включает гидротермальную минерализацию, наложенную на скарновые ассоциации и сформировавшуюся в три стадии (оксидную, сульфидную и карбонатную). Руды сложены сульфидами, образованными в среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

Практическая значимость.

Новые данные о геологическом строении, возрасте и условиях образования U-Au-Cu минерализации являются очень важным вкладом по геологии центрального Вьетнама и могут быть использованы при прогнозе месторождений.

Выявление двух тектонических блоков, стадий деформации, структурных факторов, контролирующих минерализацию, и их роли в образовании U-Au-Cu оруденения являются геологической основой при планировании и проведении дальнейшей оценки и, возможной разведки в районе Кон Ра провинции Контум Центрального Вьетнама.

Апробация работы и публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в 12 работах, в том числе 7 статьях и 5 тезисов докладов на научных конференциях: Молодежная научно-образовательная конференция «Молодые – Научкам о Земле» МГРИ-РГГРУ, Москва 2020; «XV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», МГРИ, 2021; «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» ЦНИГРИ. 2020. Молодежная научно-образовательная конференция «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», ЦНИГРИ. 2021.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 105 наименований. Объем работы составляет 130 страниц, в том числе 28 таблиц и 67 рисунков.

Первое защищаемое положение раскрыто в главе 2, второе – в главе 3, третье – в главе 4.

В первой главе, изложена история геологического изучения района, обобщены сведения о предшествующих работах, дается общая характеристика геологических исследований изучаемого района.

Во второй главе раскрыта геологическая структура потенциального рудного узла Кон Ра. Выделено два разных тектонических блока. На основе анализа геолого-геофизических данных, этапов деформации, особенностей изменения рудовмещающих пород, геохимических характеристик породных комплексов построена трехмерная модель блока, вмещающего потенциальное месторождения Кон Ра.

В третьей главе раскрыто геологическое строение участка Cu-Au-U рудопроявления Кон Ра, показаны закономерности распределения медно-золотого и уранового оруденения и рудоконтролирующие факторы, обоснована рудоносная pull-apart зона сдвига.

В четвертой главе рассмотрен минеральный и элементный состав, текстуры и структуры руд потенциального месторождения Кон Ра, обоснована схема последовательности рудообразования. Приведены данные по термобарогеохимии включений в кварце из сульфидных руд Кон Ра. Проанализирован изотопный состав серы сульфидов руд рудопроявления Кон Ра в сравнении с изотопией серы сульфидов известных магматических и гидротермально-скарновых месторождений меди. Изучение минерального состава и строения руд рудопроявления Кон Ра указывают на то, что она представлена гидротермальной минерализацией, наложенной на скарновые ассоциации и сформировавшейся в три стадии (оксидную, сульфидную и карбонатную). Руды сложены сульфидами, образованными в высоко- и среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам исследования.

Благодарности. Особую благодарность хочу выразить проф. **Игнатову Петру Алексеевичу**, который научил меня знаниям, давал ценные советы, активно помогал в подготовке работы. Без ценных советов и всесторонней помощи профессора **П.А. Игнатова** было трудно написать эту работу.

Автор выражает глубокую благодарность профессорско-преподавательскому составу МГРИ, всем, кто помогал и поддерживал в процессе исследования.

Автор выражает благодарность Главному управлению геологии и полезных ископаемых Вьетнама за поддержку источника данных и создание всех благоприятных условий для выполнения автором данной диссертации.

Кроме того, автор выражает благодарность профессору А.В. Петрову, который помогал с обработкой геофизических данных, доценту А.П. Алешину за ценные консультации при изучении аншлифов, а также профессору С.Г. Кряжеву за проведение и интерпретацию изотопного анализа серы сульфидов.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: По геолого-геофизическим данным в перспективном рудном районе Кон Ра центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных отличающимися по составу и строению комплексами осадочно-метаморфических пород протерозоя-кембрия и интрузиями силурийских и триасовых гранитов, Потенциальное месторождение с U-Au-Cu минерализацией расположено в блоке, включающем метакарбонатные породы, относительно большие интрузии триасовых коллизионных гранитов S-типа, связанные с ними скарны и юрские дайки.

Рассматриваемая перспективная площадь составляет порядка 25 км² и включает рудопоявление меди, золота и урана Кон Ра. Она представляется потенциальным рудным полем и имеет сложное строение (рисунок 1А, Б).

В ее пределах наиболее распространены породы протерозой-кембрийского комплекса Хамдык (PR-Єkd), которые также слагают небольшие ксенолиты в гранитоидах раннетриасового комплекса Хайван. Они существенно дислоцированы с преобладающим простираанием осевых поверхностей складок на северо-восток и субмеридионально, в меньшей мере, на северо-запад. В комплексе Хамдык выделено 9 ассоциаций: метаультрамафиты (uPR-Єkd); метагаббро (grPR-Єkd); амфиболиты (aPR-Єkd); метаплагиограниты (pPR-Єkd); метакарбонатные породы (caPR-Єkd); амфиболовые гнейсы (gaPR-Єkd); биотитовые гнейсы (gbPR-Єkd); антофиллит-кордиеритовая (acPR-Єkd); кристаллических сланцев (fPR-Єkd).

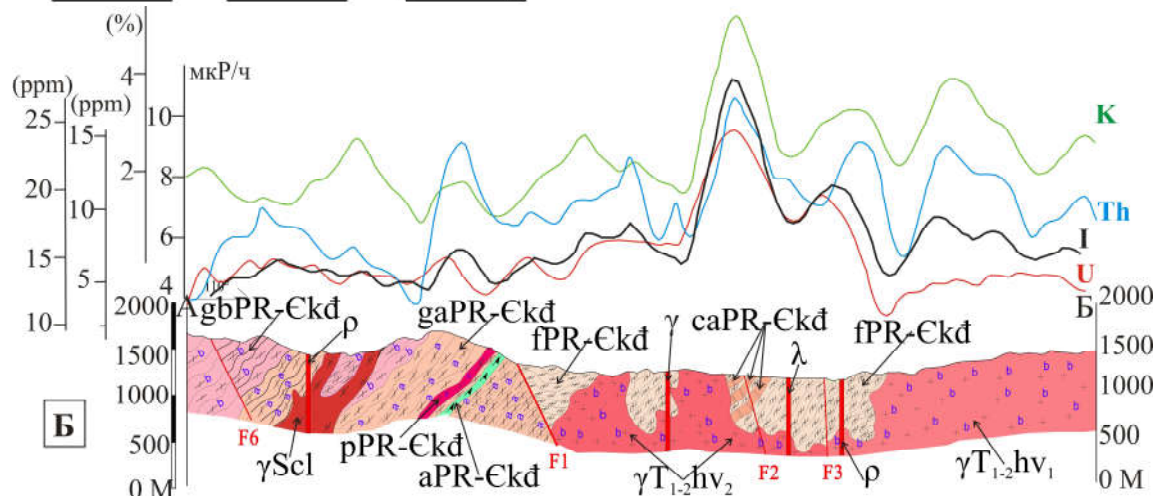
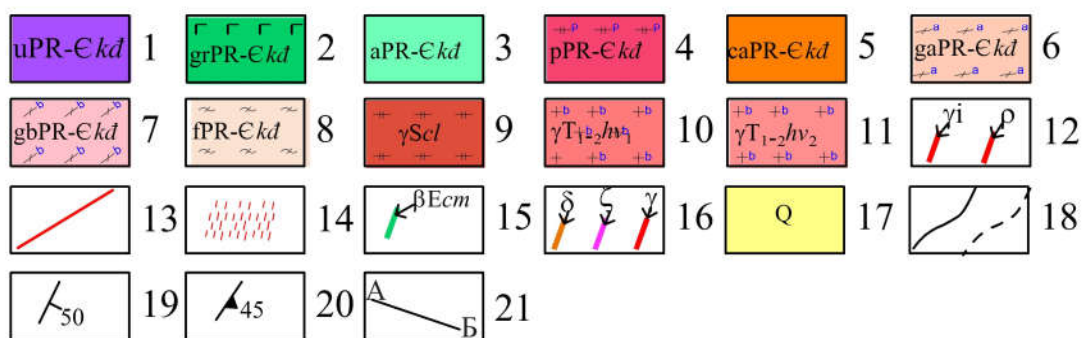
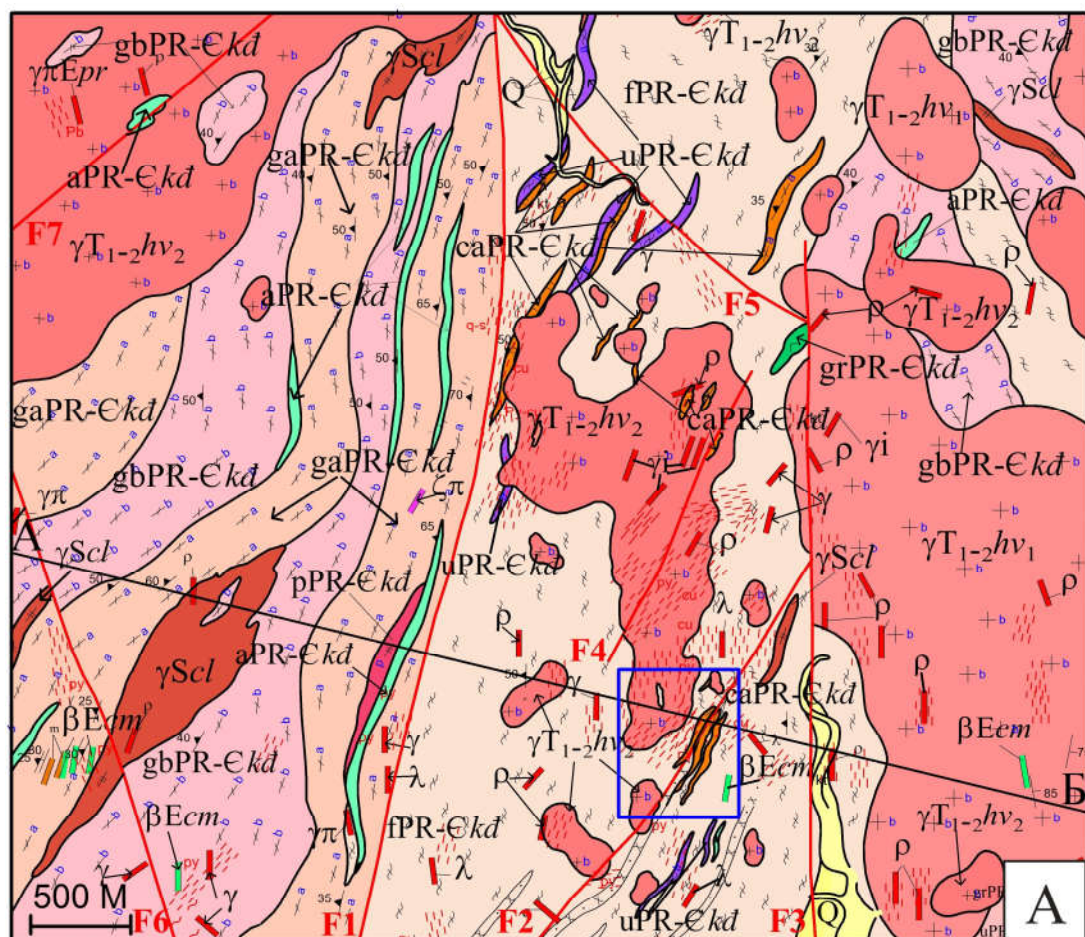


Рисунок 1 – Геологическая карта площади Кон Ра масштаба 1:50.000 (А) (по Чан Д.) и геолого-геофизический профиль по линии А-Б (Б)

Условные обозначения к рисунку 1:

1-8 – протерозойский комплекс Хамдык (PR-Єkd): 1 – метаультрамафиты (uPR-Єkd): дуниты, перидотиты, пироксениты; 2 – метагаббро (grPR-Єkd); 3 – амфиболиты (aPR-Єkd); 4 – метаплагиограниты, плагиогранитогнейсы, гранодиоритогнейсы и диоритогнейсы (pPR-Єkd); 5 – метакарбонатные и метаскарновые породы (caPR-Єkd): мраморы, оливиновые и диопсидовые кальцифиры, диопсидиты, диопсидовые гнейсы, кварц-диопсидовые сланцы, пироксеновые скарны; 6 – амфибол-гнейсовая ассоциация (gaPR-Єkd): амфиболовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые и пироксеновые гнейсы; 7 – биотитовые гнейсы, биотит-плагиогнейсы, биотит-гранит-плагиогнейсы (gbPRkd); 8 – кварц-слюдяные, кварц-мусковитовые и биотитовые сланцы, слюдисто-гранат-силлиманит-андалузит-кордиеритовые породы (fPR-Єkd); 9 – силурийский комплекс Чулай (γScl): гранитогнейсы, двуслюдяные гранитогнейсы; 10 – биотитовые граниты первой фазы (γT₁₋₂hν₁); 11 – биотитовые и двуслюдяные граниты второй фазы (γT₁₋₂hν₂); 12 – гранит-аплиты и пегматиты ранней фазы (γi-pT₁₋₂hν); 13 – разломы; 14 – зоны катаклаза; 15 – эоценовые диабазы комплекса Кумонг (βЄst); 16 – гидротермальные жилы разного состава; 17 – голоцен-плейстоцен (Q): речные отложения; 18 – геологические границы; 19 – элементы залегания сланцев и амфиболитов; 20 – элементы залегания гнейсов; 21 – линии АБ.

Породы силурийского комплекса гранитоидов Чулай (γScl) обнажаются на поверхности в виде линз, сложенных гранито-гнейсами. Гранитоиды комплекса Чулай наиболее распространены на западе и меньше на востоке площади.

Породы триасового комплекса гранитов Хайван (γT₁₋₂hν) обрамляют метаморфические породы комплекса Хамдык и встречаются внутри него в виде разных по площади массивов. Выделяются две фазы гранитов. В пределах Кон Ра породы комплекса Хайван обнажаются на поверхности небольшими блоками и вскрыты скважинами до глубины 300 м, что указывает на относительно не глубокий эрозионный срез гранитных массивов.

На некоторых участках породы комплекса Хамдык прорваны юрскими дайками лампрофиров, гранит-порфиров, риолитов и пегматитов, датированными U-Pb методом (163.981 ± 1.9 млн лет, образец KR.LK2/33).

По геолого-геофизическим данным в перспективной площади Кон Ра центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных главным образом комплексами метаморфических пород протерозоя-кембрия, гранито-гнейсами силура и интрузиями триасовых гранитов. Они отличаются составом и строением вулканогенно-осадочных метаморфических пород. Это хорошо видно на геологической карте и на карте градиентов аномального магнитного поля (рисунок 2). В западном блоке (З) преобладают значения градиента от 0.15 до 0.55 нТл/м, в Восточном блоке (В) преобладают значения от 0.05 до 0.35 нТл/м.

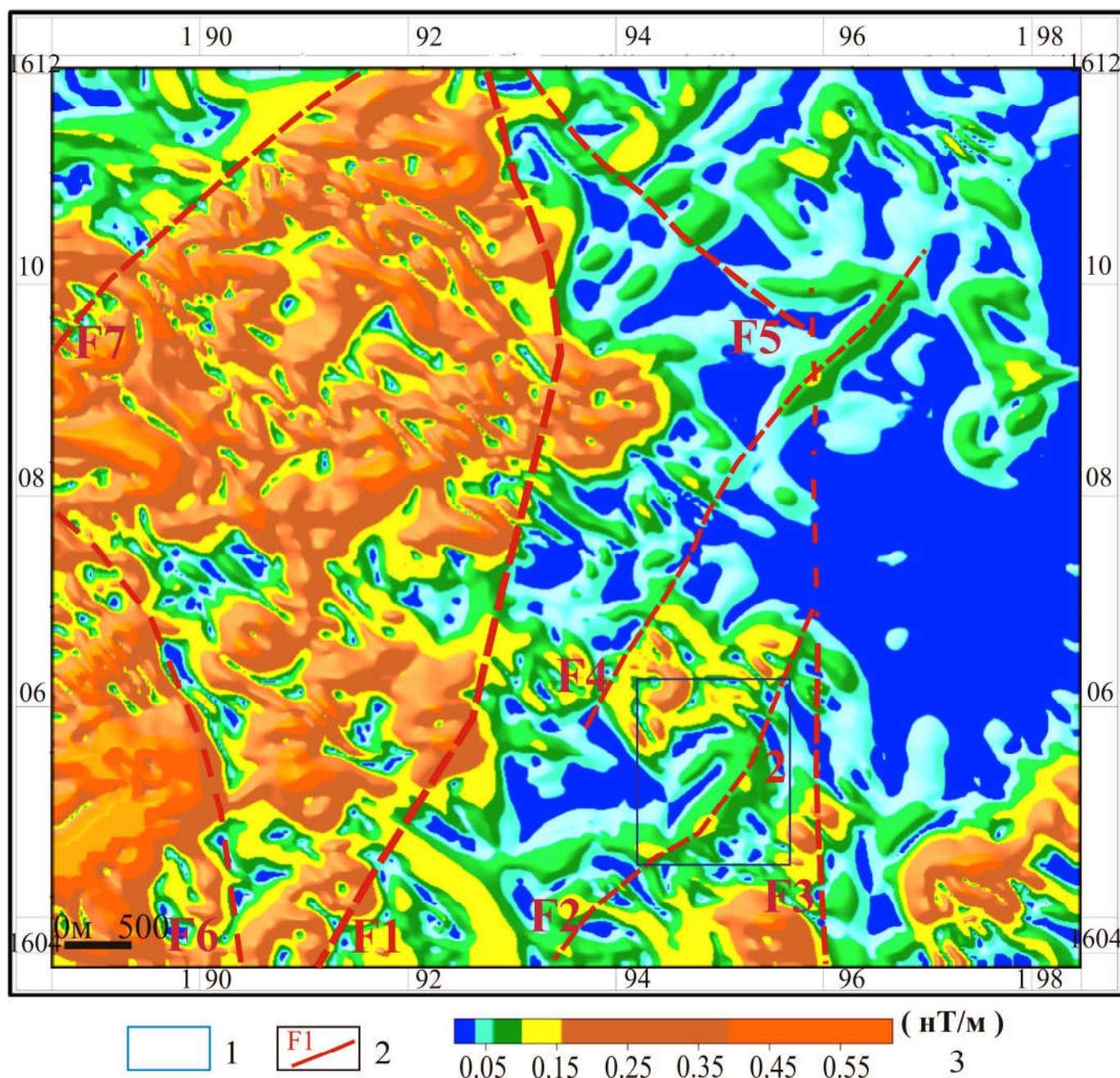


Рисунок 2 – Карта полного градиента аномального магнитного поля и положение основных разломов, построенная по результатам интерпретации магнитного поля в площади Кон Ра, провинции Кон Тум Центрального Вьетнама масштаба 1: 50000; 1 – контур площади рудопроявления Кон Ра; 2 – разломы; 3 – значение плотности (г/см^3)

Западный блок характеризуется протерозой-кембрийскими метаморфическими породами с присутствием биотитовых гнейсов, амфиболитов и метаплагиогранитов. В восточном блоке древние метаморфические породы включают биотитовые гнейсы ультраосновные породы, сланцы, метакarbonатные породы и метагabbро. Соотношение пород восточного и западного блоков приведено на рисунке 3.

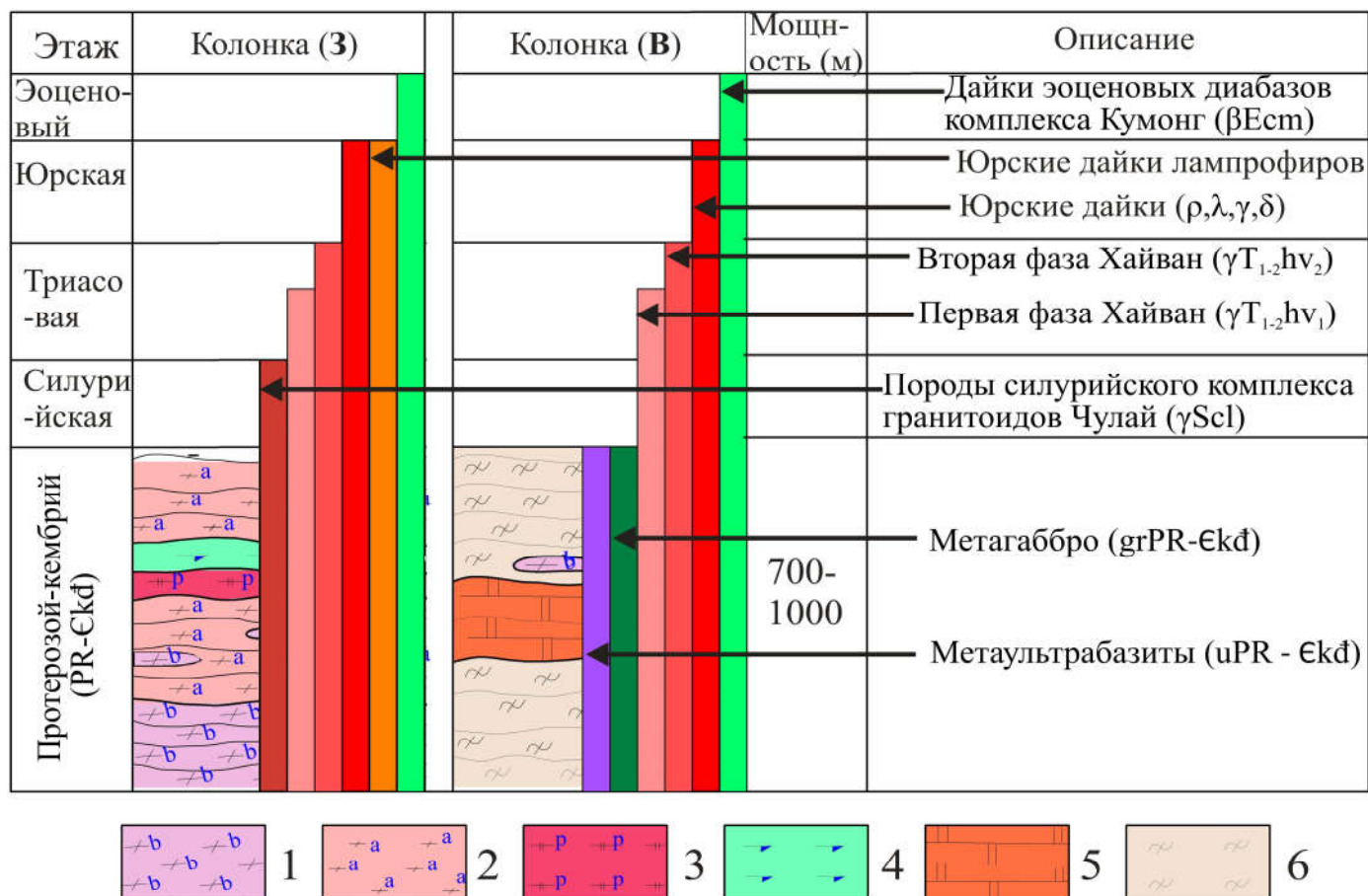


Рисунок 3 – Схематические колонки в западном (З) восточном (В) блоках в площади Кон Ра. 1 – Биотитовые гнейсы ($gbPRkd$); 2 – амфибол-гнейсовая ассоциация ($gaPR-Єkd$); 3 – метаплагιοграниты, плагиогранитогнейсы, гранодиоритогнейсы и диоритогнейсы ($pPR-Єkd$); 4 – амфиболиты ($aPR-Єkd$); 5 – метакарбонатные породы ($caPR-Єkd$); 6 – кристаллические сланцы ($fPR-Єkd$)

Второе защищаемое положение: Потенциальное U-Au-Cu месторождение представлено серией субпараллельных линзовидных рудоносных залежей тектонических брекчий, которые локализованы в экзоскарнах и контролируются взбросо-сдвиговой структурой типа pull-apart zone, которая обоснована результатами геологического картированию, наблюдениями в обнажениях, керне оценочных скважин, аншлифах и стереографического анализа тектонических трещин.

Рудоносные зоны Кон Ра приурочены к восточному контакту гранитов, осложненному дайковидными апофизами гранитов поздней фазы внедрения. Здесь же распространены скарны. Минерализация связана с эпискарновыми тектоническими брекчиями и катаклазитами (рисунок 4).

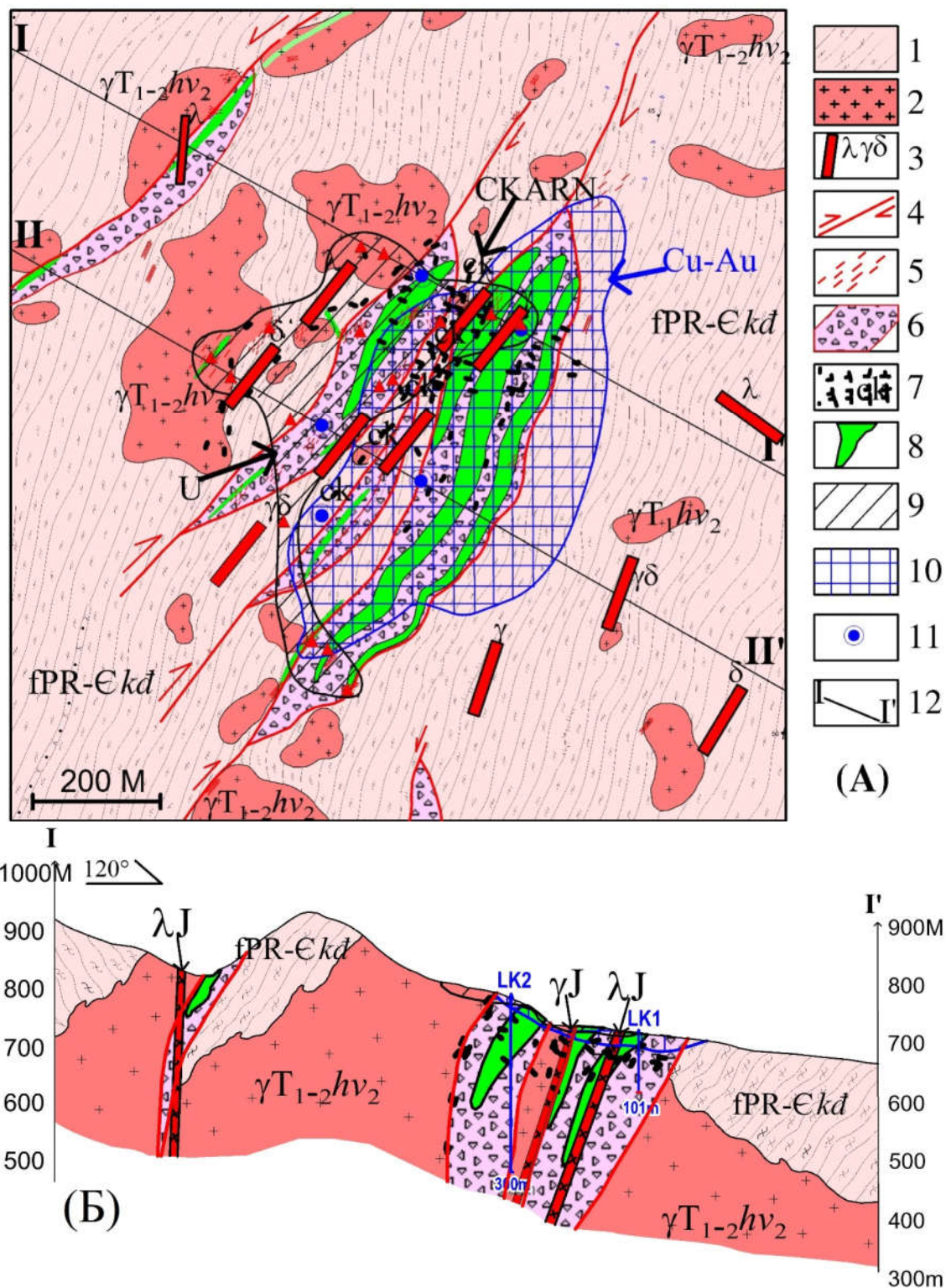


Рисунок 4 – Схематическая геологическая карта участка рудопоявления Кон Ра (А) и геологический профиль по линии I-I' (Б). 1 – кристаллические сланцы (fPR-Єkd); 2 – граниты второй фазы комплекса Хайван ($\gamma T_{1-2} hv_2$); 3 – юрские дайки лампрофиров (δ), пегматитов и фельзит-порфиров (γ), гранодиорит-порфиров (λ); 4 – разломы; 5 – зона тектонических брекчий и катаклаза; 6 – предполагаемая pull-apart зона; 7 – скарнированные породы; 8 – ореол урановой минерализации; 9 – золото-медная рудоносная зона в коренном залегании; 10 – золото-медная минерализация в зоне окисления; 11 – устья оценочных скважин; 12 – линии профилей I-I' и II-II'

Тектонические брекчии встречаются как правило в диопсидовых и тремолитовых мраморах и контактирующих с ними кристаллических сланцах (рисунок 5).

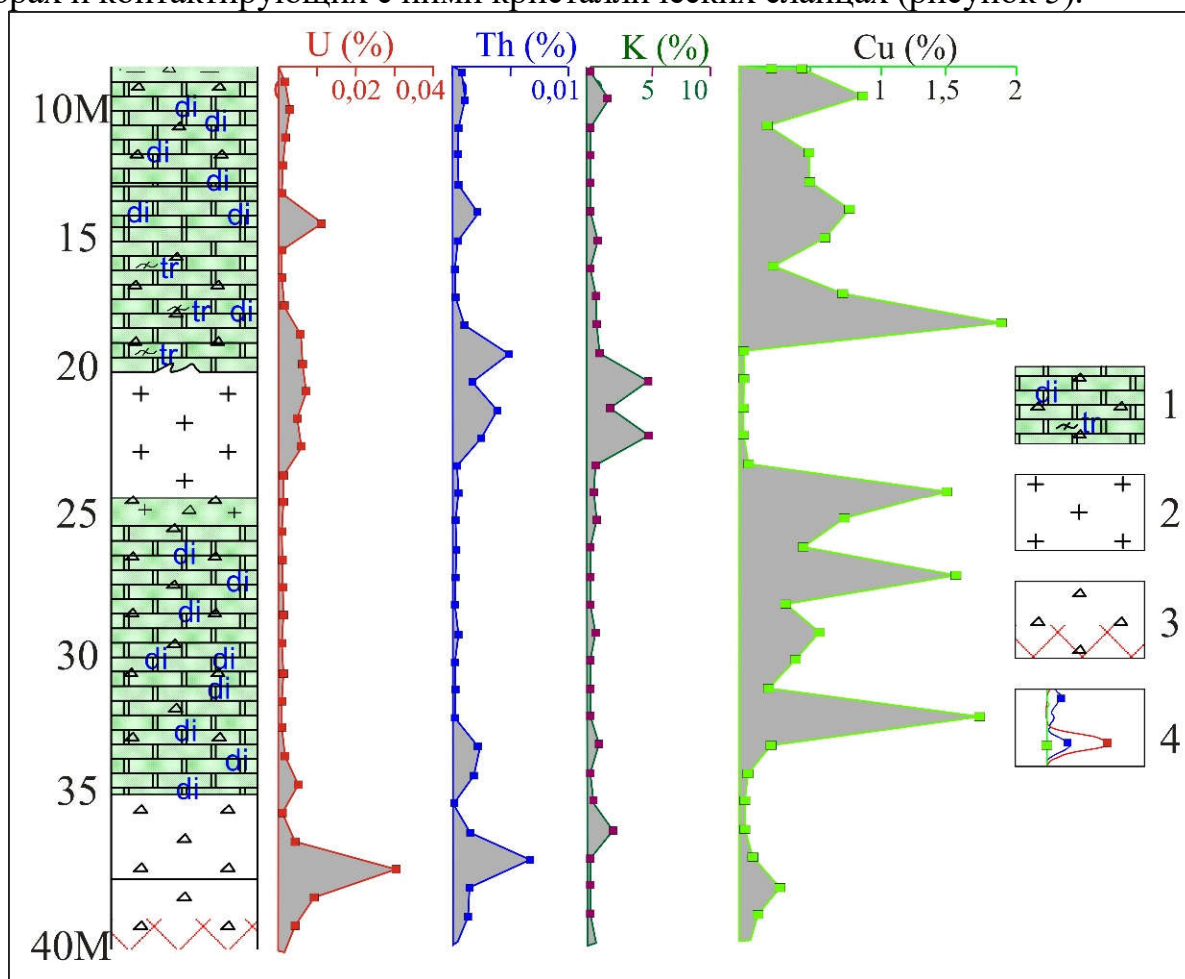


Рисунок 5 – Фрагменты схематических колонок по скважинам, в том числе по скв. LK 1; 1 – тектонические брекчии с обломками тремолитовых и диопсидовых мраморов и сульфидами (15-30%, пирит, пирротин, халькопирит и др.); 2 – граниты; 3 – катаклазиты и тектонические брекчии с обломками тремолитовых и диопсидовых сланцев, сульфидами того же состава (4-15%) и высокой радиоактивностью; 4 – кривые гамма-каротажа и содержания урана, тория, калия и меди

Изучение керна, каротажа, результаты опробования и аналитики показали, что первичная золотоносная медная минерализация связана с сульфидами, слагающими цемент тектонических брекчий и катаклазитов, гнезда и прожилки в диопсид-кварцевых и тремолитовых мраморах и сланцах.

Рудные минералы включают пирит, халькопирит, пирротин, марказит, халькозин, кубанит, молибденит, магнетит, графит и находятся в сростании с кварцем, серицитом, хлоритом и эпидотом. Руды имеют брекчиевую, прожилковую и вкрапленную текстуры.

Золото-медное оруденение изучено на основе анализов 300 проб руды, выполненных атомно-абсорбционным методом. Определено содержание меди и золота. Результаты анализов привязаны к каждому образцу в соответствии с глубиной. Содержание меди выбрано из $> 0.5\%$, а содержание золота выбрано $> 0.1\text{г/т}$. Построена соответствующая схема проекции содержаний на вертикальную плоскость (рисунок 6), на которой видно сопряжение концентраций меди и золота.

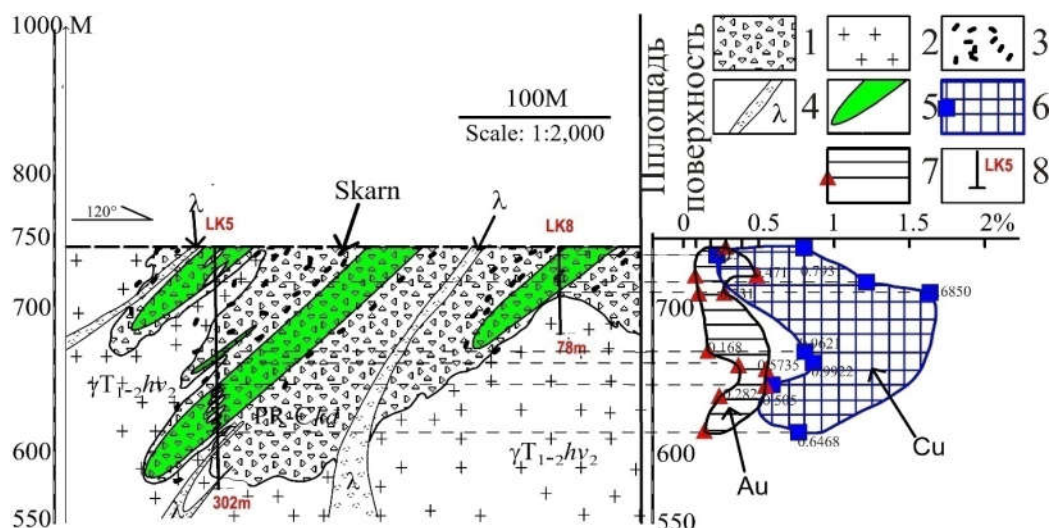


Рисунок 6 – Схема проекции Си-Аи-рудных залежей на вертикальную плоскость, верхняя граница соответствует уровню абсолютной отметки 750 м. 1 – брекчи; 2 – граниты второй фазы Хайван; 3 – скарны; 4 – юрские дайки; 5 – золото-медные рудоносные зоны; 6 – площадь концентрации Аи выше 0.1 г/т; 7 – площадь концентрации Си выше 0.5 %; 8 – оценочные скважины

По результатам атомно-абсорбционного анализа рудных проб построен схематический погоризонтный план по уровню абсолютной отметки 750 м, на котором вынесены условные контуры концентраций меди более 0,5% и золота более 0.1, 0.2 и 0.3 г/т (рисунок 7).

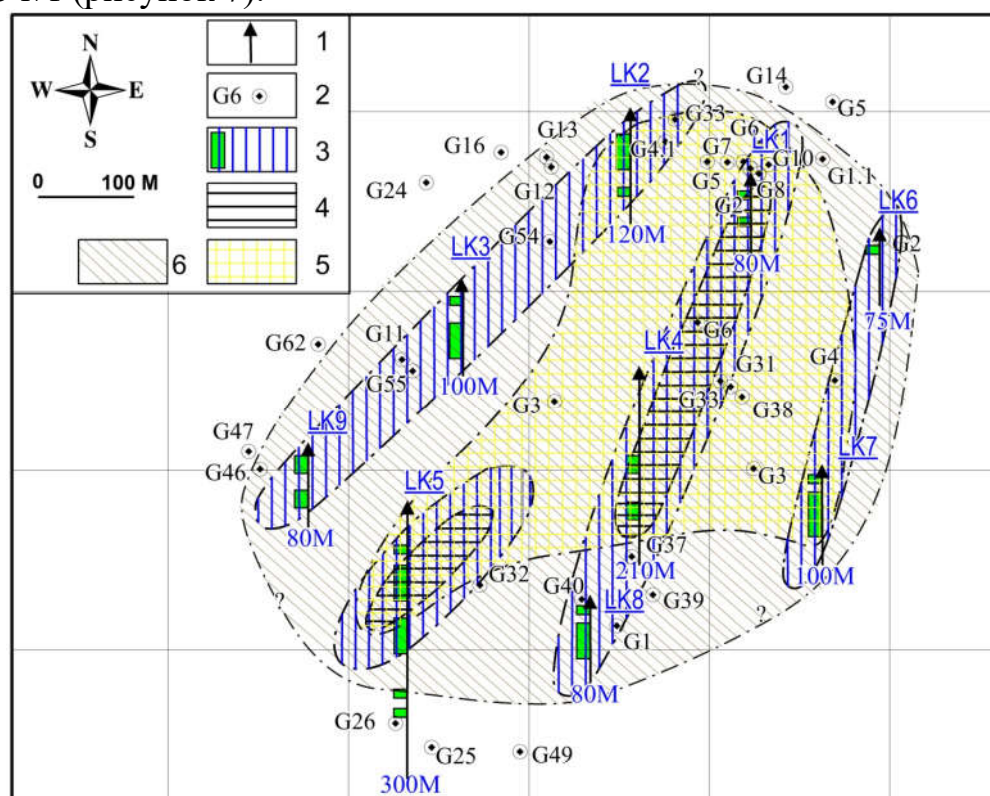


Рисунок 7 – Схематический погоризонтный план по уровню абсолютной отметки 750 м распределения концентраций меди и золота и расположение скважин. 1 – оценочные скважины; 2 – мелкие скважины; 3-6 – условные контуры концентраций меди и золота: 3 – $Cu > 0.5\%$; 4 – $Au > 0.3 \text{ г/т}$; 5 – $Au > 0.2 \text{ г/т}$; 6 – $Au > 0.1 \text{ г/т}$

Урановая минерализация (уранинит, уранофан, карнотит) встречается в виде гнезд и небольших линз как на поверхности, так и в коренном залегании. Она пространственно связана с дайками кислого состава юрского возраста, также находящимися в восточном экзоконтакте гранитов Хайван (см. рисунок 4А). Урановая минерализация обнаружена в дайках пегматитов, около дайковых метасоматитах и в тектонических брекчиях в гранитах Хайван.

Как золото-медная, так и урановая минерализации связаны с разломами. Особенно это касается золото-медных сульфидных руд. В этой связи важен анализ тектонических нарушений, распространенных в районе Кон Ра и на участке рудопроявления. В месте пересечения разломом F2 скарнов и метакарбонатных пород намечается его плавный изгиб. Именно на этом участке локализованы рудоносные залежи. Данный участок разлома F2 можно рассматривать в качестве локального растяжения типа pull-apart zone (рисунок 8А).

Разлом F5 рассматривается как правосторонний взбросо-сдвиг. На севере восточного выделенного автором крупного тектонического блока этот разлом смещает сланцы, ультраосновные и метакарбонатные образования. Здесь намечается зона локального растяжения также типа pull-apart, распространенная в метаультрабазитах и метакарбонатных породах. Она представляется перспективной на обнаружение медного и сопутствующего уранового и золотого оруденения (рисунок 8Б).

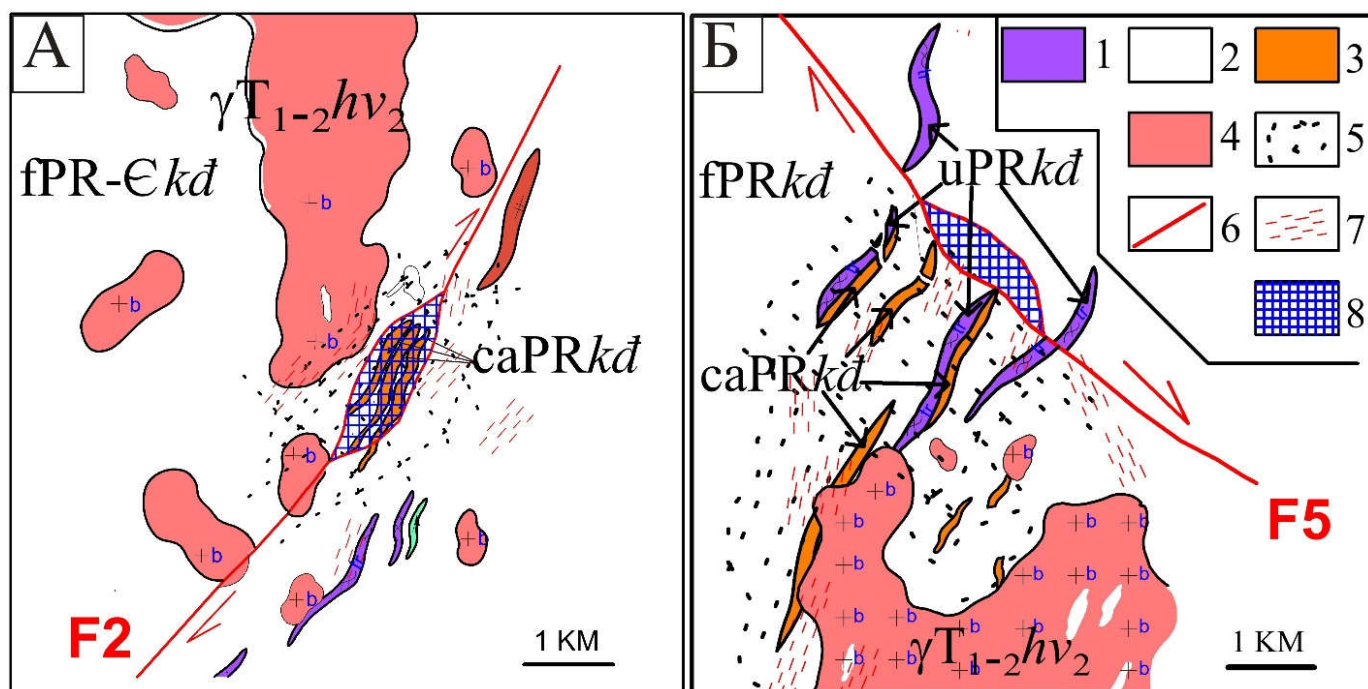


Рисунок 8 – Детальные схемы предполагаемых присдвиговых pull-apart зон. А – площадь рудопроявления Кон Ра. Б – обнаружение медного и сопутствующего уранового и золотого оруденения. 1 – ультрамафиты; 2 – кристаллические сланцы; 3 – метакарбонатные породы; 4 – граниты второй фазы комплекса Хайван; 5 – скарнированные породы; 6 – разлом; 7 – зона тектонических брекчий и катаклаза; 8 – предполагаемые pull-apart зоны

Взбросово-сдвиговый тип нарушений выявлен по данным геологического картирования, наблюдениям в обнажениях и керне скважин и объемного анализа

ориентированных тектонических трещин. В частности, правый взбросо-сдвиг северо-восточного простирания установлен на юго-западе участка рудопроявления Кон Ра (см. рисунок 8А). Амплитуда смещений частей триасовых гранитов составляет десятки метров. В пределах выделенной выше перспективной площади смещение крутопадающих даек метаультрабазитов комплекса Хамдык по правому сдвигу северо-западного простирания имеет тот же порядок (см. рисунок 8Б) в первые десятки метров.

Взбросовый и сдвиговый тип нарушений подтверждается и наблюдениями в обнажениях и по керну скважин (рисунок 9). Амплитуды смещений составляют первые сантиметры, однако форма микронарушений явно указывает на их происхождение. Часто микросмещения сопровождаются тектоническими брекчиями и катаклазитами. В части из них находится сульфидная минерализация.

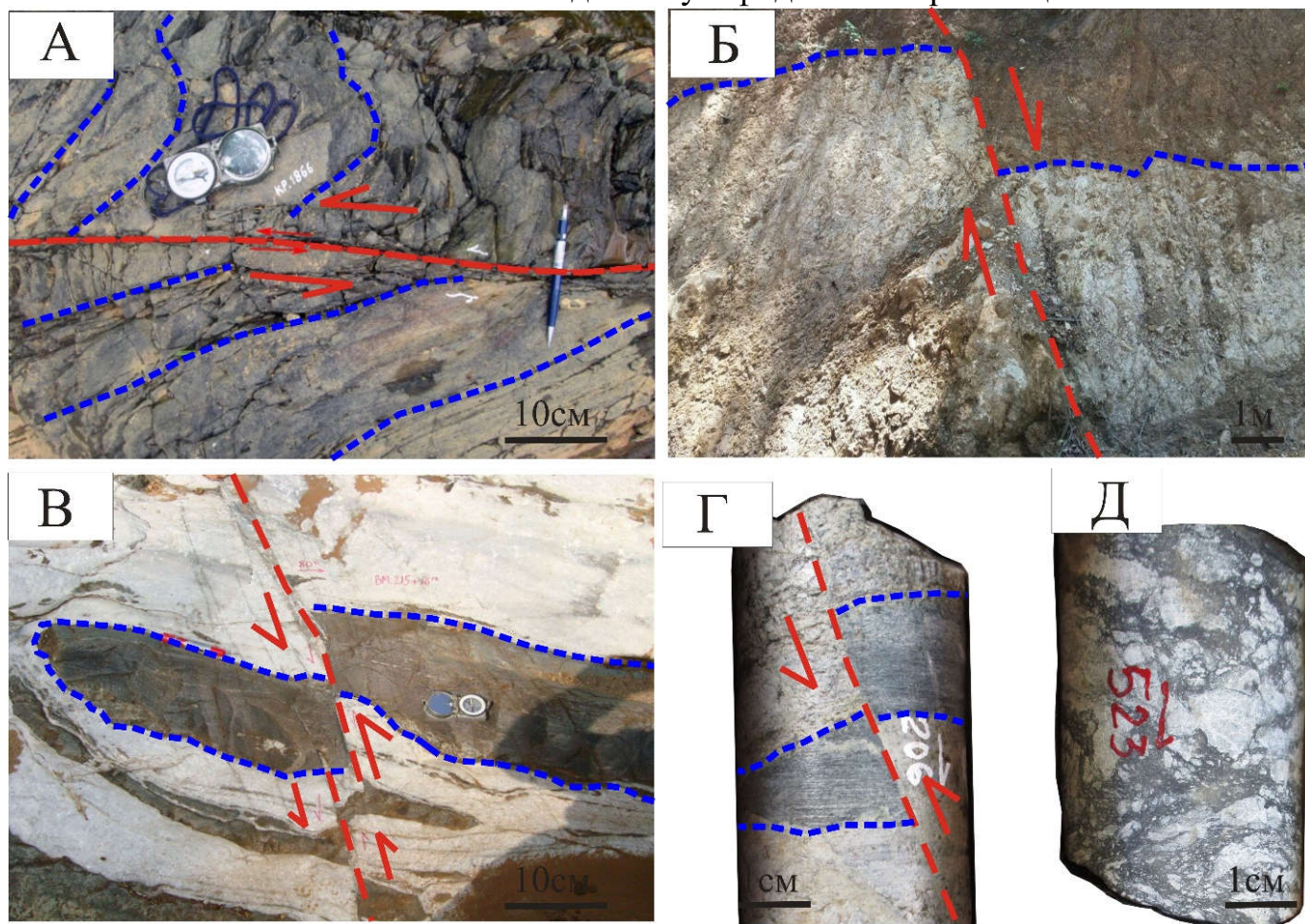


Рисунок 9 – Проявления взбросо-сдвиговых деформаций в обнажениях и керне скважин: А – микровзбросо-сдвиг в двуслюдяных кварцевых сланцах комплекса Хамдык с тектонической брекчией, обнажение KR.1866; Б – микровзброс в биотитовых гнейсах комплекса Хамдык; В – микровзброс линзы амфиболита в мраморе комплекса Хамдык; Г – микровзбросо-сдвиг в мраморе, керн скважины LK1; Д – тектоническая брекчия с сульфидным цементом

Результаты исследований шлифов указывают на синхронность сдвиговых деформаций и отложения сульфидов (рисунок 10).

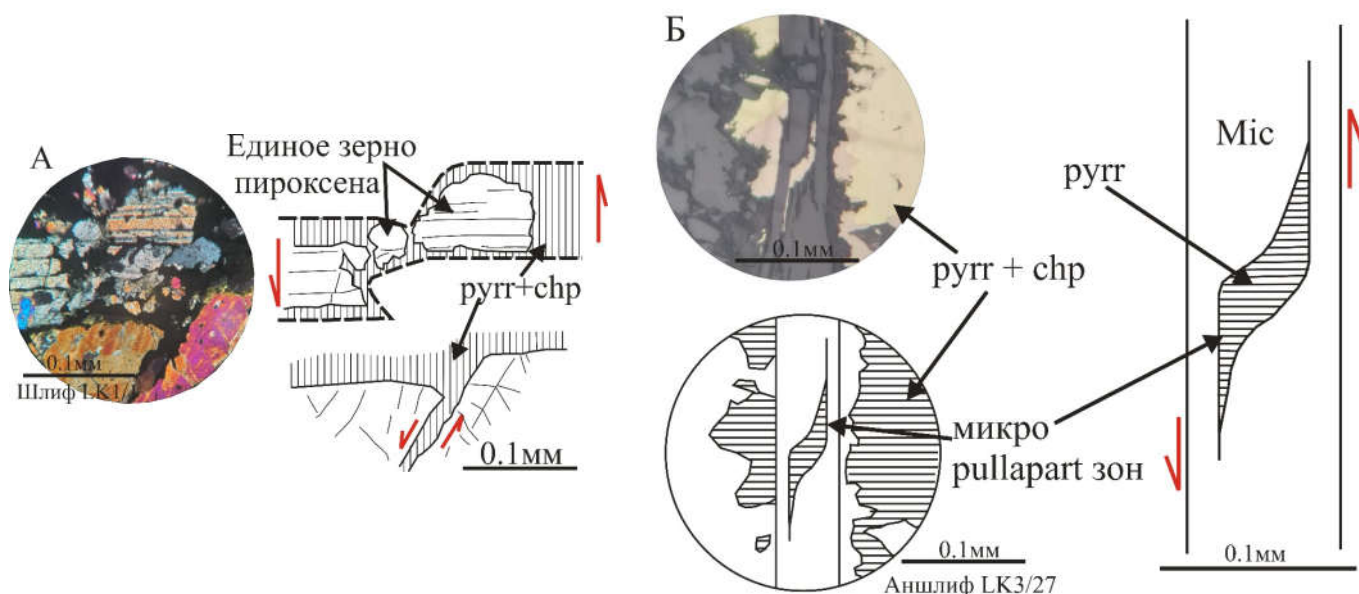


Рисунок 10 – Проявления микросдвиговых нарушений. А – Микробрекчия тремолит – диопсидового скарна с сульфидным цементом. Видно сдвиговое нарушение единого кристалла пироксена. Микрофото прозрачно-полированного шлифа LK1/1, N+; Б – S или Z структура и микро pull-apart зона, сложенная пирротином, находящимся в оси прожилка, выполненного агрегатом мусковита, указывающая на синхронное сдвигу отложение сульфидов. Микрофото того же анишлифа LK3/27, отраженный свет N//

Взбросо-сдвиговый характер рассматриваемых нарушений также подтверждается анализом массовых замеров тектонических трещин. Замеры пространственных параметров трещин выполнены с помощью телевьюера в виде видеокамеры и приемника изображений высокого разрешения и ультразвукового сканера (рисунок 11). Многочисленные замеры выполнены в породах комплекса Хамдык в 9 скважинах и в гранитах комплекса Хайван в 6 скважинах. Построение сферических проекций азимутов простирания и углов падения трещин выполнено с использованием программного обеспечения HiRAT фирмы ROBERTSON, Великобритания, 2014 г.

Важно отметить, что золото-медная минерализация в виде рудоносных линзовидных зон локализована именно в отмеченных взбросо-сдвиговых нарушениях северо-восточного простирания и крутого северо-западного падения.

Морфология этих нарушений в виде плавных изгибов позволила представить рудовмещающую структуру потенциального золото-медного месторождения Кон Ра как крутопадающую pull-apart зону правого взбросо-сдвига, охватившую хрупкую среду экзоскарнов с мраморами (рисунок 12).

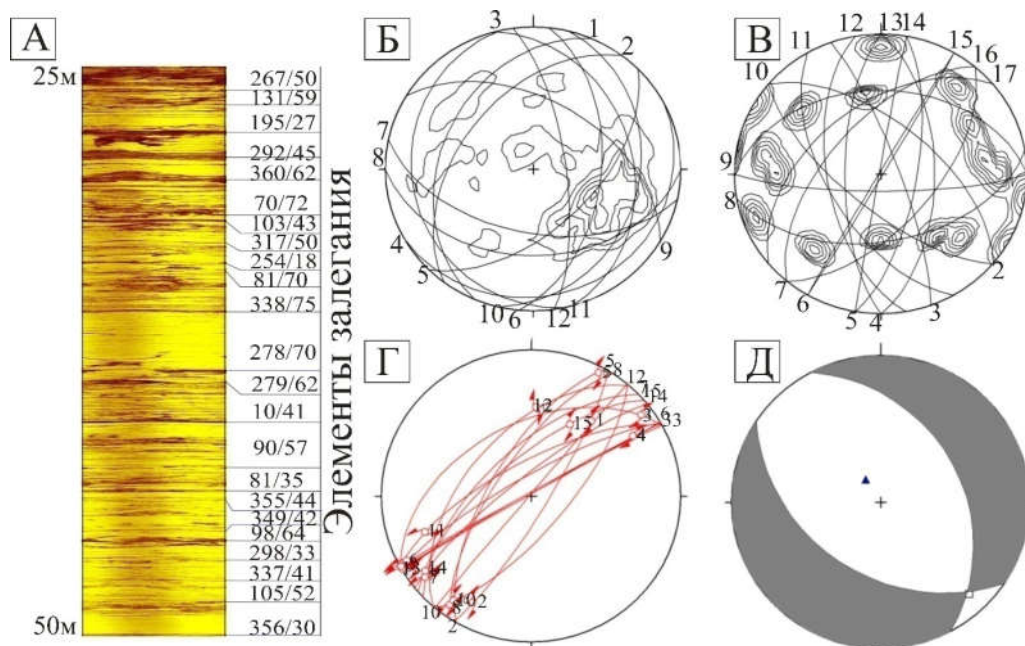


Рисунок 11 – Результаты анализа тектонических трещин в породах комплекса Хамдык на участке рудопоявления Кон Ра: А – срезы ультразвуковых изображений высокого разрешения, по которым определены элементы залегания трещин в скважинах; Б – сферические проекции плоскостей трещин в породах комплекса Хамдык; В – сферические проекции плоскостей трещин в гранитах комплекса Хайван; Г – проекции основных взбросо-сдвиговых трещин; Д – положение главных осей напряжений σ_1 - $227 \angle 03$; σ_2 - $137 \angle 15$; σ_3 - $327 \angle 75$; коэффициент напряжений $R = 0,0201$

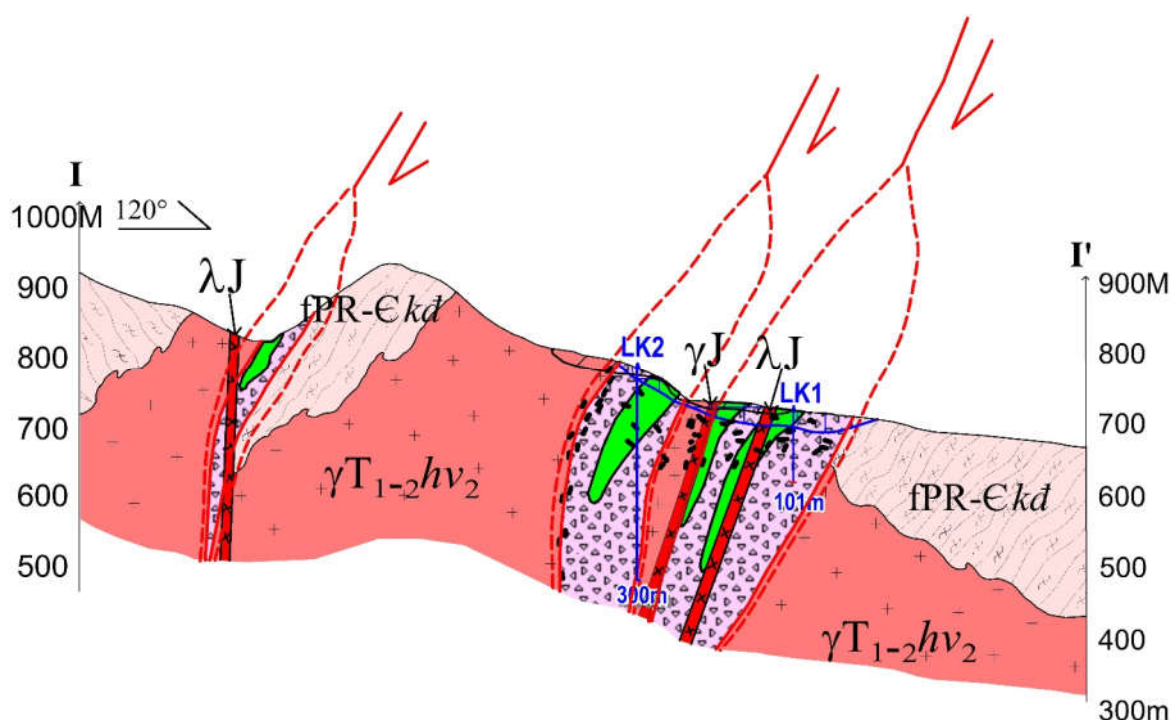


Рисунок 12 – Схема рудовмещающей зоны локального растяжения и тектонических брекчий в экскарпах рудопоявления Кон Ра

Согласно этой модели, под действием регионального сжатия произошли взбросо-сдвиговые хрупкие деформации скарнов, осложненных плитообразными

апофизами гранитов Хайван экзоскарнов, развитых по метатерригенным и метакрбонатным породам комплекса Хамдык. В участке флексурного изгиба этого правостороннего сдвига образовалась pull-apart зона локального растяжения с тектоническими брекчиями и катаклазитами. Именно в эту зону должны были поступать рудоносные гидротермальные растворы с медью, золотом и другими компонентами. А также сероводород и, возможно, водород, что обусловило действие сульфидного и восстановительного барьеров и образование руд.

Третье защищаемое положение: Минеральный состав руд рудопроявления Кон Ра включает гидротермальную минерализацию, наложенную на скарновые ассоциации и сформировавшуюся в три стадии (оксидную, сульфидную и карбонатную). Руды сложены сульфидами, образованными в среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

В результате изучения 60 рудных аншлифов выявлены распространенные рудные минералы халькопирит, пирит и пирротин. Меньше распространены марказит, ковеллин, графит и молибденит. Не часто встречаются магнетит, арсенопирит, халькозин, гематит, гетит и лимонит. Редким рудным минералом является уранинит.

Скопления сульфидов размерами от менее 0,1 до 5 мм слагают цемент брекчий с обломками диопсидовых и тремодитовых мраморов и сланцев, пироксена и тремолита. Среднее содержание сульфидов 15-20%. Сульфидная минерализация сопровождается метасоматитами в ассоциации кварц-серицит-хлорит-эпидот. Распространены пострудные прожилки кальцита. Характерные текстуры и структуры руд рудопроявления Кон Ра приведены на рисунках 13 -15.

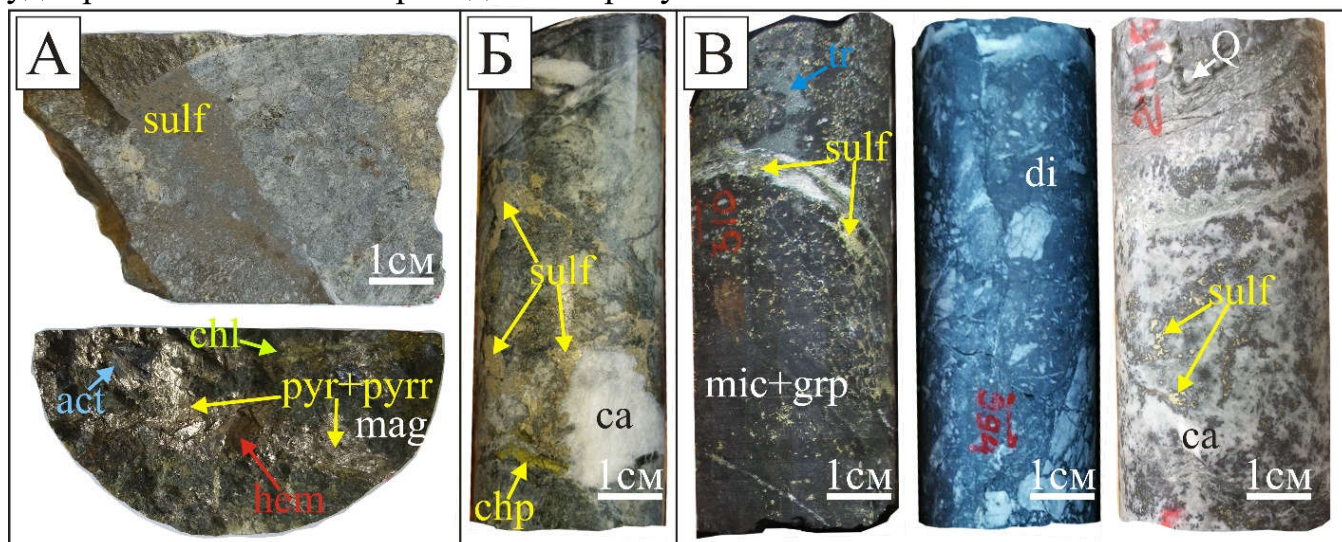


Рисунок 13 – Сульфиды, слагающие цемент тектонических брекчий и катаклазитов (А), гнезда (Б) и прожилки (В) в диопсид-кварцевых и тремолитовых мраморах и сланцах. Sulf = сульфиды; mag = магнетит; act = актинолит; pyr = пирит; pyrr = пирротин; chp = халькопирит; hem = гематит; di = диопсид; tr = тремолит; ca = кальцит; mic = слюда; grp = графит; chl = хлорит; Q = кварц

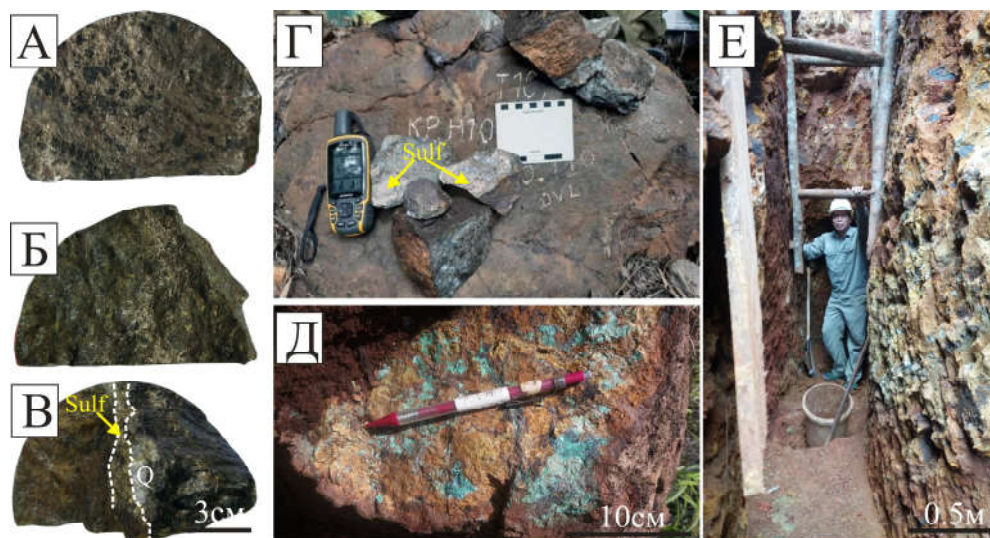


Рисунок 14 – Текстуры сульфидных руд рудопроявления Кон Ра: А – вкрапленные, керн LK3/2 на глубине 55.0 м; Б – вкрапленные и мелко гнездовые, керн LK1/2 на глубине 18.8 м; В – прожилки сульфидов с кварцем и графитом, керн LK5/70 на глубине 134.8 м; Г – минеральный парагенезис халькопирит, пирит и пирротин, обнажение KR. H10; Д – азурит в зоне окисления в, обнажение KR. VL3; Е – серия мелких сульфидных жил, канава KR. H11

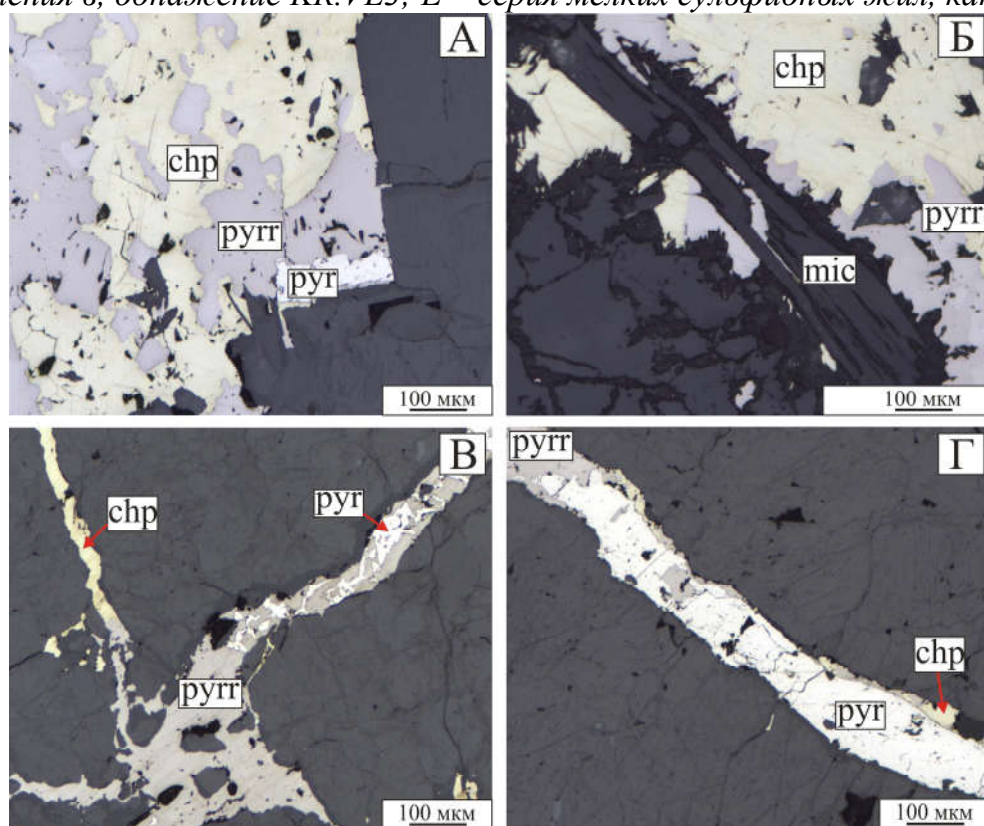


Рисунок 15 – Структуры сульфидных руд рудопроявления Кон Ра: А – цементная в обломках диопсидовый скарн, шлиф LK1/12-1 на глубине 18.5м, отраженный свет N//; Б – прожилковая и ксеноморфная структуры пирротина и халькопирита и микро Z структура, сложенная пирротином, в оси прожилка, выполненного агрегатом мусковита, указывающая на синхронное сдвигу отложение сульфидов, шлиф LK3/27 на глубине 57 м, отраженный свет N//; В – прожилковая структура раннего пирротина и позднего пирита и халькопирита, шлиф LK1/12-2 на глубине 18.5 м, отраженный свет N//; Г – халькопирит, пирит корродирует пирротин, шлиф LK1/12-3, на глубине 18.5 м, отраженный свет N//

Вкрапленные текстуры наиболее распространены, во вкраплениях и гнездах встречаются агрегаты пирита, халькопирита, пирротина и других сульфидов.

Жильная и прожилковая текстуры руд представлены параллельными и сетчатыми формами. Руды с такой текстурой типичны для более поздних стадий минерализации относительно вкрапленных руд. Сульфидные минералы заполняют трещины в пороодообразующих минералах.

В исследуемом рудопроявлении выделены руды ранних стадий, сформированных в результате метасоматических процессов, и поздних стадий, связанных с тектоническими хрупкими нарушениями и гидротермальной деятельностью

Автоморфная, гипидиоморфная структура обычна для вкраплений пирита.

Аллотриоморфная структура наиболее распространена. Форма минералов неправильная, часто ксеноморфная и подчиняется ранее образованным минералам. Для этого типа структуры характерны халькопирит и халькозин.

Коррозионная структура достаточно распространена и характерна для: пирита и халькопирита, замещающего пирротин, а также ковеллина, замещающего халькопирит.

Последовательность формирования руд. Анализ обнажений, керн, аншлифов, шлифов на участке рудопроявления Кон Ра позволил выделить три этапа: дорудный образования скарнов, рудный формирования сульфидных руд, включая пострудную стадию образования кварца, кальцита и хлорита, и гипергенный этап образования зоны окисления (таблица 1).

Таблица 1 – Схема последовательности формирования руд

Этапы и стадии Минерал	I. Скарновый (дорудный)	II. Гидротермальный (рудный)			III. Экзогенный
		Стадия			
		Оксидная	Сульфидная	Пострудная	
Пироксен	—————				
Клинопироксен	—————				
Актинолит	—————	—————			
Тремолит	—————	—————			
Хлорит	—————	—————			
Мусковит		—————			
Магнетит	—————				
Кварц	—————				
Графит	—————				
Молибденит			—————		
Халькопирит		—————	—————		
Пирит		—————	—————		
Пирротин		—————	—————		
Кальцит	—————				
Гематит				—————	
Борнит		—————			
Марказит				—————	
Халькозин					—————
Ковеллин					—————
Гетит					—————
Малахит					—————
Лимонит					—————
Азурит					—————
Главные ————— второстепенные ————— редкие —————					

Вопросы генезиса оруденения

Температура рудообразования: По результатам анализа включений в кварце сульфидной ассоциации установлено, что рудные минералы образуются в контрастных диапазонах температур от 300⁰С до 445⁰С и от 220⁰С до 280⁰С. При этом первичные жидко-газовые и газо-жидкие включения, встречались реже, чем газовые. Вероятно, минералообразующий раствор представлял собой газогидротерму, образовавшуюся на довольно большой глубине, с начальной температурой около 435⁰С.

Изотопный состав серы сульфидов рудоносных зон. На рудопроявлении Кон Ра автор проанализировал 6 образцов пирротина на изотопы серы из керн оценочных скважин (рисунок 16).

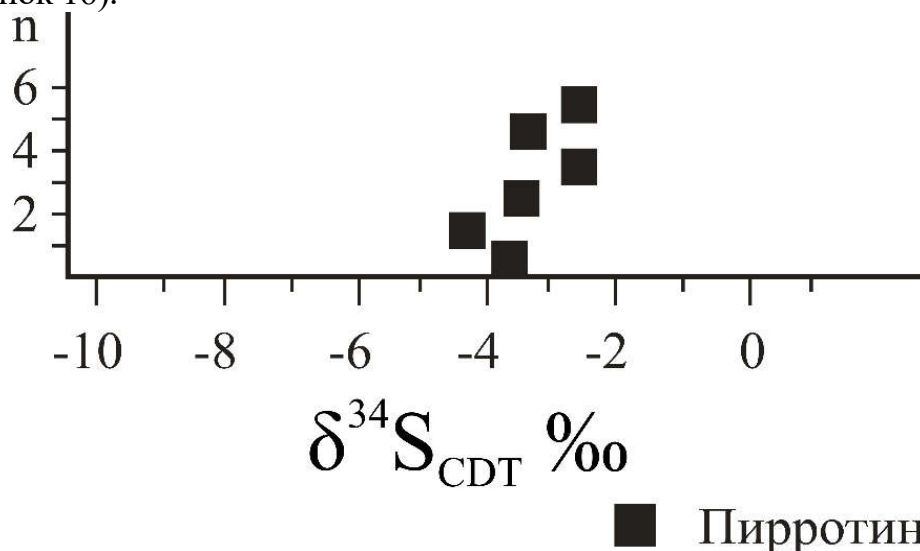


Рисунок 16 – График, показывающий значения изотопа серы из пирротина Кон Ра

Изотопы серы пирротина слабо варьируют, $\delta^{34}\text{S}$ изменяется от -4,1 до -2,5 ‰, при средних значениях ($\delta^{34}\text{S} = -3,3 \pm 0,8 \text{ ‰}$). Однако, существует некоторая дифференциация, характеризующаяся увеличением $\delta^{34}\text{S}$ с -3,4 до -2,5 ‰ в образцах Ф8, Ф9, Ф18 и Ф19. В целом сера имеет однородный изотопный состав ($\delta^{34}\text{S} = -3,3 \pm 0,8 \text{ ‰}$), что подтверждает представление о магматическом источнике рудного вещества. Пирротин наследует изотопный состав серы флюида независимо от температуры минералообразования (Омото Х., Рай Р., 1982). Следовательно, измеренные значения $\delta^{34}\text{S}$ характеризуют изотопный состав серы рудогенерирующих магм.

Из результатов изотопного анализа серы сульфидов Кон Ра можно полагать, что золотоносные медные руды сформированы из исходного гидротермального раствора магматического происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главные выводы из представленной работы можно свести в ряд положений.

В перспективной рудной площади ранга потенциального рудного узла Кон Ра центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных комплексами метаморфических пород протерозоя-кембрия и интрузиями триасовых гранитов, которые отличаются составом, плотностью, возрастом и строением вулканогенно-осадочных метаморфических пород. Потенциальное месторождение с Cu-U-Au минерализацией расположено в блоке, включающем метакарбонатные скарнированные породы, нарушенном мезозойскими разломами.

По результатам геологического картированию, наблюдениями в обнажениях, керне оценочных скважин, аншлифах и стереографическому анализу тектонических трещин обоснована рудовмещающая структура золото-медного рудопроявления в виде крутопадающей pull-apart зоны правого взбросо-сдвига.

Пространственное сопряжение золото-медной и урановой минерализации может быть обусловлено унаследованным развитием рудоконтролирующих тектонических нарушений.

Минеральный состав руд рудопроявления Кон Ра включает гидротермальную минерализацию, наложенную на скарновые ассоциации и сформировавшуюся в три стадии (оксидную, сульфидную и карбонатную). Руды сложены сульфидами, образованными в высоко- и среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

Установленные закономерности рудоконтроля должны быть положены в обоснование прогнозных построений и проведения поисково-оценочных и, возможно, разведочных работ в районе Кон Ра и на одноименном рудопроявлении.

Таким образом, цель достигнута, установлены закономерности локализации и вещественный состав U-Au-Cu орудения. Кроме того, выделена перспективная поисковая площадь на севере Восточного блока.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ:

1. До М. Ф., П. А. Игнатов, Т. Х. Фан, З. Х. Нгуен, Д. Чан. минералогическо-геохимические характеристики Cu-U-Au- проявлений в районе кон ра провинции контум, Вьетнам // Геология и разведка. – 2020. - № 2 (63). – С. 73-85.

2. До М. Ф., Игнатов П. А., Фан Т. Х., Нгуен З. Х., Чан В. Т. Структуры, контролирующие Cu-U-Au минерализацию в районе кон ра провинции контум центрального вьетнама // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 6. – С. 28-34.

3. До М. Ф., Фан Т. Х., Игнатов П. А.. Закономерности локализации золото-медной и урановой минерализации в районе Кон Ра, центральный Вьетам // Разведка и охрана недр. – 2022. – № 1. – С. 3-10.

4. Фан Т. Х., Петров А. В., До М. Ф., Лай М. З., Нгуен Ч. Л. Особенности геологического строения центральной части Вьетнама по результатам интерпретационной обработки данных гравиразведки в компьютерной технологии «КОСКАД 3D». Известия высших учебных заведений // Геология и разведка. – 2020. – № 63(5). – С. 77-90.

5. Фан Т. Х., Петров А. В., **До М. Ф.** Геологическое районирование центральной части вьетнама по результатам интерпретационной обработки данных магнито-Разведки с использованием компьютерной технологии «коскад 3D» // Разведка и охрана недр. – 2021. – №11. – С. 27-33.

Статьи, опубликованные в журналах во Вьетнаме

6. Phan T. H., Petrov A. V., **Do M. P.**, Nguyen T.L. Geological region by multi-signal method of gravity anomaly data in central Vietnam area // Journal of Mining and Earth Sciences. – 2021. – № 62(5). – С. 43–54.

7. Phan T. H., Nguyen N. T., Bui V. N., **Do M. P.** Deep crustal structure of Hanoi and adjacent areas on the basic of gravity anomaly analysis // Journal of mining and earth sciences. – 2017. – № 58(5). – С. 325-334.

Тезисы докладов, опубликованные на конференциях и семинарах

8. **До М. Ф.**, Нгуен З.Х. Тектоническое положение Cu-U-Au минерализации района кон ра, центральный вьетнам . Сборник тезисов докладов I Молодежной научно-образовательной конференции « Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» ЦНИГРИ. М., 2020. – С. 82-85.

9. **До М. Ф.**, Игнатов П. А., Фан Т. Х. Эпискарновая Cu-U-Ау-минерализация района Конра в центральном Вьетнаме // Молодежной научно-образовательной конференции «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче», ЦНИГРИ, Москва 2021 г., – С. 37-42.

10. Фан Т. Х., Петров А. В., **До М. Ф.** Обработка и интерпретация аномалий гравитационных данных в центральной области Вьетнама с использованием компьютерной технологии “КОСКАД 3D” // "Молодые – Научкам о Земле", МГРИ-РГГРУ, Москва 2020, – С. 293-297.

11. Фан Т. Х., Петров А. В., **До М. Ф.** Районирование перспектив скрытых блоков магмы в центральной области Вьетнама по анализу данных магнитных аномалий // II Молодежная научно – образовательная конференция, Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов-от прогноза к добыче, ЦНИГРИ, Москва 2021г., том 4, – С. 123-127.

12. Фан Т. Х., Петров А. В., **До М. Ф.** Применение алгоритма двумерной фильтрации в скользящем окне «живой» формы на примере центрального Вьетнама // XV Международная научно-практическая конференция "Новые идеи в науках о Земле", МГРИ, апреля 2021 г., том 4, – С. 339-343.