

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ
(МГРИ)**

на правах рукописи



ЧАН ВАН ТИЕН

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ ФЫОКТХАНЬ-ФЫОКШОН
ПРОВИНЦИИ КУАНГНАМ-КУАНГНГАЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2023 г.

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
месторождений полезных ископаемых
МГРИ

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

Позднякова Наталья Николаевна
Кандидат геолого-минералогических наук,
Старший научный сотрудник отдела
экзогенных месторождений благородных
металлов ЦНИГРИ


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

Защита диссертации состоится «06» февраля 2024 г. в 17:00 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 «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, 24.2.364.02
доктор геол.-минерал. наук

 Д. Ганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы Золото является одним из наиболее ценных и востребованных драгоценных металлов в мире, играя важную роль в экономике и культуре многих народов. Его привлекательность и стабильность цены сделали его привлекательным активом для инвестиций и торговли. В последние десятилетия увеличение глобального спроса на золото привело к усилению разработки его месторождений и добычи в различных странах.

Район Фьюктхань-Фьюкшон Центрального Вьетнама обладает значительными запасами золота, что привлекает внимание как местных, так и иностранных исследователей, инвесторов и горнодобывающих компаний. Богатые природные ресурсы этого региона, включая золото, являются важным источником экономического развития и процветания местного населения.

Однако, несмотря на потенциал развития золотодобычи в центральном регионе Вьетнама, существует необходимость в детальном исследовании различных аспектов этой отрасли. В данной кандидатской диссертации автор предлагает всестороннее исследование по геологии золоторудных месторождений.

Ожидается, что результаты данного исследования станут важным вкладом в понимание потенциала золотодобывающей промышленности в регионе Фьюктхань-Фьюкшон. Предоставление всесторонней информации и рекомендаций поможет заинтересованным сторонам, включая региональные власти, инвесторов и горнодобывающие компании, принимать более обоснованные решения, способствующие устойчивому развитию этой отрасли в регионе.

Целью диссертационной работы является типизация золоторудных объектов и выявление структурных предпосылок локализации потенциальных золоторудных месторождений в Фьюктхань-Фьюкшон Центрального Вьетнама.

Основные задачи исследований:

1. Изучение геологического строения района и истории его развития, включая выделение стадий региональных тектонических деформаций.
2. Выделение структур ранга рудных тел, полей и месторождений, известных и потенциальных золоторудных объектов.
3. Установление закономерностей распределения концентраций Au в золоторудном поле Фьюкшон на основе анализа структурных факторов, контролирующих рудную минерализацию, обоснование моделей рудообразования.
4. Диагностика вещественного состава золотых руд, установление последовательности минералообразования и представление концепции происхождения.

Фактический материал и личный вклад автора. Исследовательская работа основана на материалах, полученных в результате проведения геологоразведочных работ на площади Фьюктхань-Фьюкшон, 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 из 27280 пог. м керна 94 наклонных скважин, меньше, из естественных обнажений. Из них автор задокументировал всего 21541 погонных метров керна, включая 128,95 м диаметром 90 мм, 13482,78 м диаметром 64 мм, 7929,72 м диаметром 47,6 мм, и собрал 201 образец керна из кварцевых жил.

В статистической обработке использованы Microsoft office и 630 анализов, выполненных в лаборатории Вьетнамского института геологии и минералов.

Автором использованы и проанализированы геологические карты масштабов от 1: 100 000, 1: 50 000, 1: 10 000 до 1 : 2000; геологические профили по 127 наклонным скважинам оценочного бурения глубиной от 100 м до 500 м.

В работе также использованы опубликованные и фондовые материалы по району Фьюктхань-Фьюкшон и прилегающим площадям Центрального Вьетнама.

Материалы по геологии и полезным ископаемым района Фьюктхань-Фьюкшон привлечены автором с разрешения и согласия Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама.

Методическая основа исследования

Для определения геологических структур района, ключевых факторов и стадий тектонических деформации, рудоконтролирующих структур, автор использовал: данные геологических карт, которые анализировал в геоинформационной среде в созданном автором проекте в программе Quantum GIS (QGIS 3.9).

Полевые исследования проводились в рудниках Байдат и Байго и прилегающих площадях для описания геологического строения и тектонических деформаций, изучения распределения золотой минерализации и отбора проб.

Для определения возраста руд использованы данные масс-спектрометрии Ar-Ar методом по биотиту, отобранному из керна золоторудных кварцевых жил. Анализы $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ выполнены во Вьетнамском Центре геологического и экспериментального анализа г. Ханой, аналитик Н.В. Нам. Эксперимент проводился на многоколлекторном масс-спектрометре «Thermo Fisher Scientific ARGUSVI», соединенным с линией извлечения/очистки газа из нержавеющей стали и лазерной системой «Photon Machines Fusion 10.6 CO₂». Масс-спектрометр ARGUSVI имеет радиус 13 см, расширенную геометрию на 90°, статический вакуум, магнитный сектор, в котором размещен источник типа Нира и фиксированная матрица из пяти фарадеев (с малошумящими резисторами 1 x 1012 Ω) и один компактный дискретный диод (CDD) детекторы. Детекторы с высокой (H) и низкой (L) массой обозначаются как H2, H1, AX, L1, L2 и CDD (AX = аксиальный). Масс-спектрометр ARGUSVI имеет объем 700 см³ и номинальное разрешение по массе 200. Чувствительность для аргона составляет $3,55 \times 10^{-17}$ моль/фА (1×10^{-3} А/Торр) при токе ловушки 200 мкА, как определено по измеренным аликвотам биотита GA1550.

Минеральный состав руд диагностирован по более чем 400 образцам аншлифов и шлифов и рентгеноструктурных анализов 399 проб. Распределение золота и сопутствующих элементов в рудах определено по 201 атомно-

адсорбционным анализом, выполненным во Вьетнамском Центре геологического и экспериментального анализа г. Ханой. Геохимическая связь рудных компонентов установлена методом многофакторной статистической корреляции.

Для изотопных анализов серы сульфидов использованы: 30 образцы из руд, содержащих вкрапленные сульфиды, подготовлены полированные тонкие срезы толщиной 150 мкм, которые были проанализированы с использованием масс-спектрометра VG Micromass SIRA Series II во Вьетнамском Центре геологического и экспериментального анализа г. Ханой, аналитик Н. В. Нам.

Для изотопных составов кислорода $\delta^{18}\text{O}$ кварца: 10 проб из Фьюктхань-Фьюкшон были использованы для изотопного анализа Н-О в Аналитической лаборатории Ханойского университета горного дела и геологии. Сначала образцы кварцевых включений размером 40-60 меш взвешивают по 5-10 мг, запекают в печи с постоянной температурой 105 °С в течение более 4 часов, а затем заворачивают в чистую и сухую жестяную чашку для использования. Во-вторых, воздух внутри анализатора элементов Flash EA был промыт гелием высокой чистоты для снижения фона H_2 . Образец испытывают при повышении температуры до 1400°С и снижении фона ниже 50 мв. Один образец взорвался в керамической трубке, содержащей стекловидный углерод, выделив H_2O , H_2 и другие Н-содержащие газы. H_2O и другие возможные органические вещества могут быть восстановлены с помощью стекло углерода при высокой температуре, чтобы восстановить газ, содержащий Н, до H_2 . Наконец, H_2 подавался потоком гелия высокой чистоты в газовый масс-спектрометр MAT-253 для анализа. Результаты представлены в виде значений $\delta\text{DV-SMOW}$ со стандартной средней океанской водой (SMOW) в качестве стандарта, а точность анализа $\pm 1\%$.

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 работы:

1. Впервые предложена типизация золоторудных месторождений и рудопроявлений района Фьюктхань-Фьюкшон.
2. Разработана новая модель структурного контроля золоторудной минерализации, приведены новые комплексные минералого-изотопно-геохимические данные золоторудных полей в Центральном Вьетнаме.

Защищаемые положения

1. В районе Фьюктхань-Фьюкшон геологическими наблюдениями и интерпретацией массовых замеров осевых плоскостей складок и тектонических трещин подтверждено 5 этапов деформаций ($\text{D}_1\text{-D}_5$). Со вторым этапом D_2 регионального тектонического сжатия связано формирование сдвигов, контролирующих золоторудную минерализацию.
2. В пределах золоторудного поля Фьюкшон рудоносные зоны рудников Байдат и Байго локализованы в зоне окончания взбросо-сдвига. Золото-кварцевые жилы располагаются субпараллельно сланцеватости

пород. Рудовмещающими являются послойные зоны тектонических нарушений, которые образовались на участке окончания взбросо-сдвига и осложняли западные крылья и замки антиклиналей. Важное значение в рудоконтроле имеют горизонты углеродистых кварц-серицитовых сланцев.

3. Золоторудные месторождения представлены золото-кварцевой с низким содержанием сульфидов (3-5% суммы сульфидов) и золото-сульфидно-кварцевой (5-50% суммы сульфидов) типами. Оба типа имеют близкие геохимические характеристики, что указывает на их образование в едином гидротермальном процессе.

4. Минеральный состав руд рудных полей Фьюктхань и Фьюкшон сформирован в 4 стадии, разделенных тектоническими подвижками: в первую стадию возникли гидротермально-метасоматические породы типа березитов, во вторую - кварц-золото-малосульфидная минерализация; в третью - золото-сульфидная и в четвертую - карбонатные прожилки с переотложенными сульфидами. По геохимическим данным, изотопии серы сульфидов и газовой-жидким включениям в рудном кварце руды образовались в среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

Практическая значимость

Обоснованы прогнозные критерии на золотое оруденение. Полученные новые материалы по месторождениям золота, сравнительная характеристика запасов и ресурсов могут быть полезными для развития горнодобывающей промышленности в регионе.

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 8 работах, в том числе 4 статьях и 4 тезисах докладов, сделанных на научных конференциях. «XV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», МГРИ-РГГРУ, 2021; XXVI Международный научный симпозиум имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», ТПУ, 2022; XI Российской молодежной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН, 2022; XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», МГРИ-РГГРУ, 2023.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Объём работы составляет 122 страницы, в том числе 17 таблиц и 57 рисунков. Первое защищаемое положение раскрыто в главах 1, второе – в главе 2, третье – в главе 3, четвертое – в главе 4.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, проф. **Игнатову Петру Алексеевичу**, который поддерживал автора на протяжении всего процесса работы над диссертацией. Правильная ориентация и полезные идеи научного руководителя помогли автору сформулировать научные взгляды, выбрать соответствующее направление исследований, разработать методологию для решения поставленных задач и предложить направления будущих исследований. Без ценных советов и всесторонней помощи профессора **П. А. Игнатова** было трудно написать эту

работу. Кроме того, автор хотел бы поблагодарить весь профессорско-преподавательский состав кафедры геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ за их ценные замечания при завершении этой работы. Автор выражает благодарность Главному управлению геологии и полезных ископаемых Вьетнама и особую хочу выразить проф. Май Чонг Ту за поддержку и помощь в получении исходных данных и создание благоприятных условий для выполнения автором данной диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геологическое строение района Куангнам-Куангнай

Первое защищаемое положение: В районе Фьюктхань-Фьюкшон геологическими наблюдениями и интерпретацией массовых замеров осевых плоскостей складок и тектонических трещин подтверждено 5 этапов деформаций (D_1 - D_5). Со вторым этапом D_2 регионального тектонического сжатия связано формирование сдвигов, контролирующих золоторудную минерализацию.

Район содержит докембрийские метаморфические породы, которые были подвержены тектоно-магматической активизации и сильно преобразованы в позднем палеозое, раннем мезозое и раннем кайнозое (Рисунок 1). Основные геологические формации включают метаморфические и магматические породы, включая интрузии меловых гранитов, связанных с палеотихоокеанской субдукцией. Геологическое строение района определяется метаморфическими, магматическими и осадочными образованиями, которые охватывают период от протерозоя до неогена-четвертичного периода.

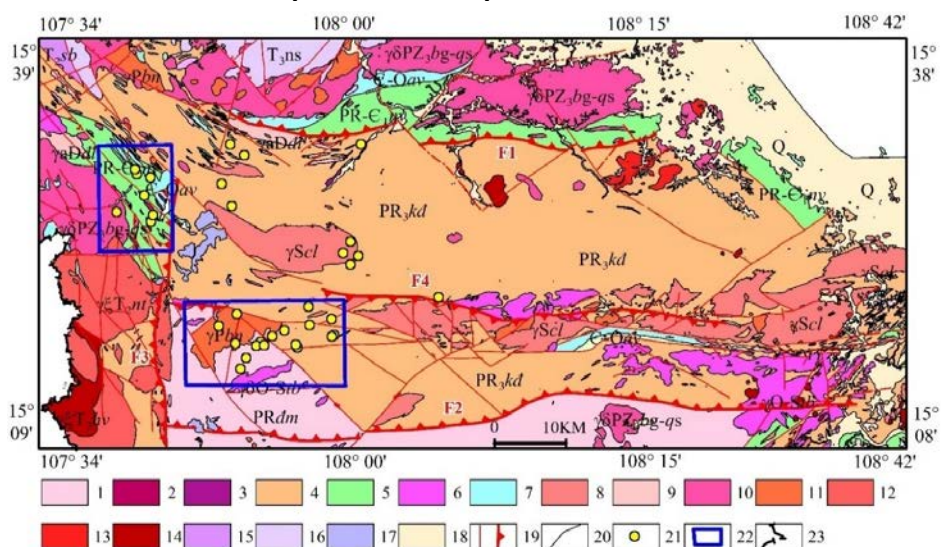


Рисунок 1 – Геологическая карта центральной части района Куангнам-Куангнай.

Масштаба 1: 200 000 (по Нгуен Суан Бао (1995))

1 – толща Дакми ($PR\dot{d}m$); 2 – комплекс Тави (γPR_{3tv}); 3 – комплекс Хуендык ($\sigma PZ_{1h\dot{d}}$); 4 – толща Хамдык ($PR_{3k\dot{d}}$); 5 – толща Нуйву ($PR-C_{1nv}$); 6 – комплекс Чабонг ($O-S_{tb}$); 7 – толща Авыонг ($C-O_{lav}$); 8 – комплекс Чулай; 9 – комплекс Дайлок; 10 – комплекс Бенжанг-Куюшон (PZ_{3bg-qs}); 11 – Бана (γP_{bn}); 12 – Нгокпенгток (δT_{2nt}); 13 – Мангшим ($\gamma \zeta T_{2mx}$); 14 – Хайван (γT_{3hv}); 15 – Шонгбунг (T_{2sb}); 16 – Нонгшон (T_{3ns}); 17 – Дайнга ($\beta N_{2\dot{d}n}$); 18 – четвертичные отложения q ; 19 – разлом; 20 – геологические границы; 21 – золото (Au); 22 – контуры золоторудных полей Фьюкшон и Фьюктхань; 23 – границы страны.

Согласно геологическим картам, составленным вьетнамскими авторами, эти комплексы были образованы в течение четырех геологических эпох и включают четыре толщи: протерозойскую (PR_{dm}, PR-Єkđ); палеозойскую (PR-Єnv, Є-Oav, O-Ssc); мезозойскую (T_{2sb}, T_{3ns}); и кайнозойскую (βN_{2đn}, Q) (Рисунок 2).

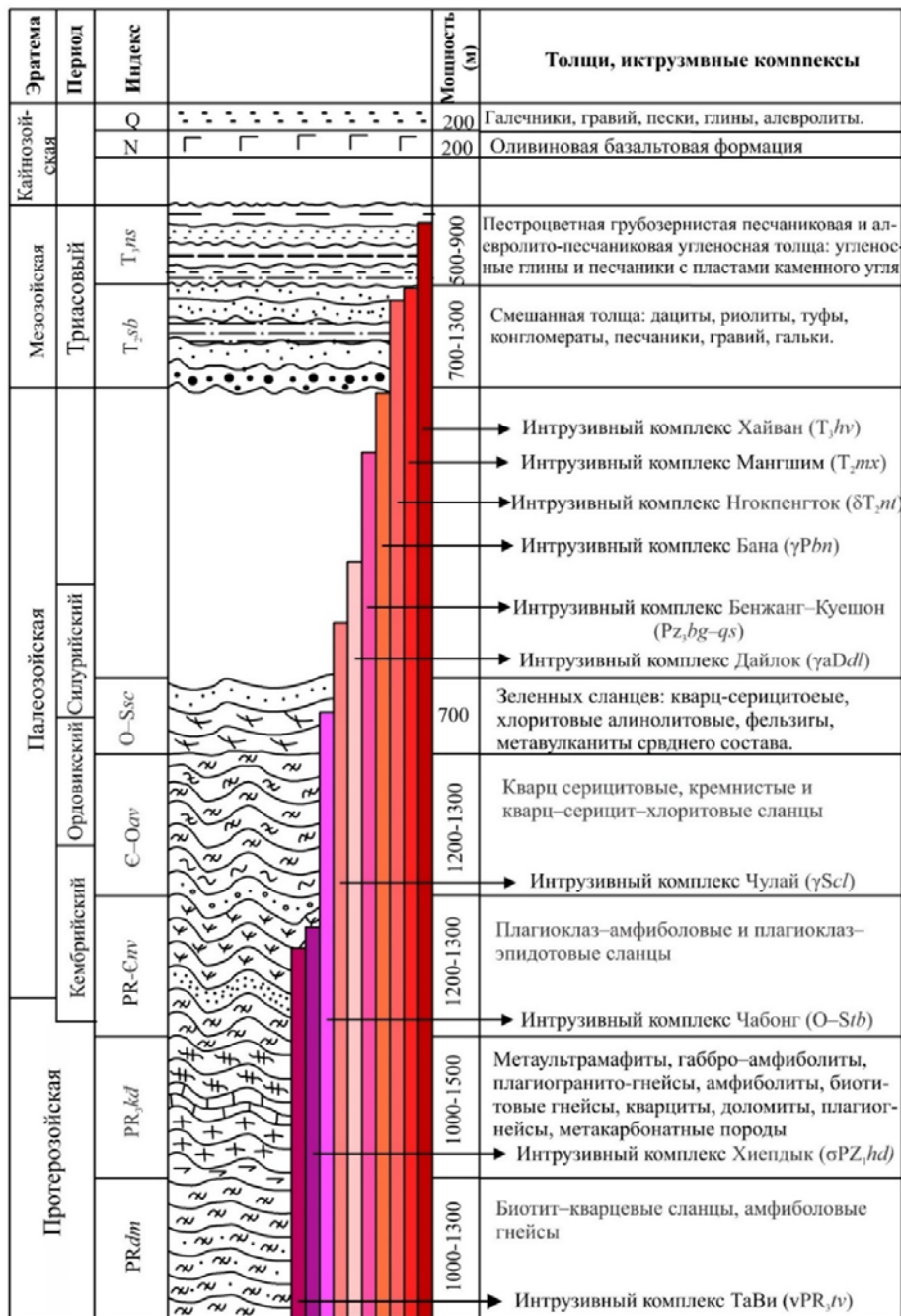


Рисунок 2 – Схематические колонки района Куангнам-Куанггай

Тектонические структуры района Фьюктхань-Фьюкшон

Этапы тектонических деформаций района и позиция золотого оруденения

На самом раннем этапе D₁ формировались изоклиналильные складки и взбросы в условиях регионального метаморфизма амфиболитовой фации. На диаграмме тектонических структур этого этапа в районе исследования показаны проекции массовых замеров осевых поверхностей складок (S₁) (Рисунок 3). Видно, что преобладают северо-западные направления плоскостей S₁.

Рассчитанные значения полей тектонических напряжений, следующие: σ_1 – 299/38, σ_2 – 33/87, σ_3 – 125/53.

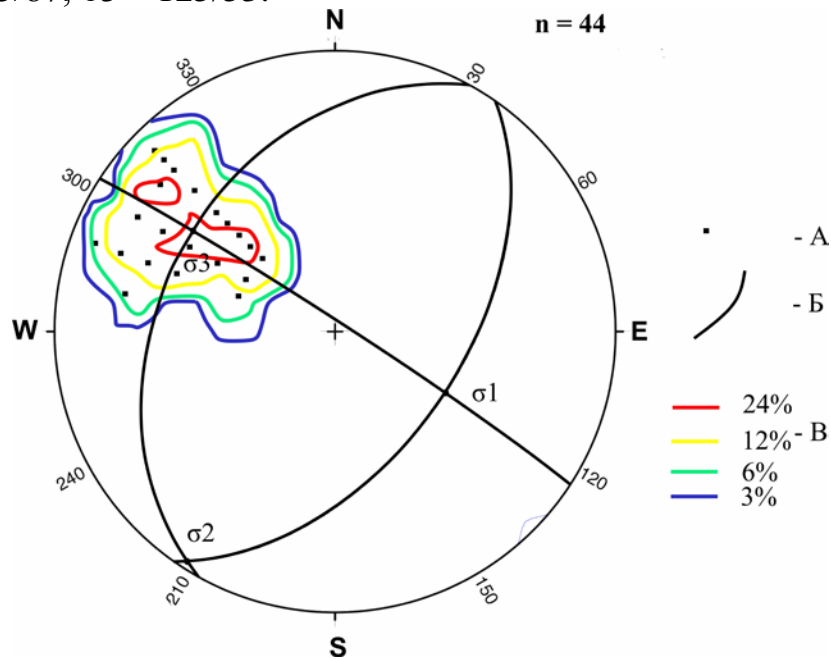


Рисунок 3 – Модель статистической системы деформации S_1 первого этапа (D_1): А - полюсы 44 трещин; Б – проекция дуги плоскостей σ_1 – 299/38, σ_2 – 33/87, σ_3 – 125/53; В – максимума трещин; n - количество замеров

Все породы и структуры D_1 на исследованной территории были охвачены вторым региональным деформационным событием. На диаграмме структуры подтверждается, что ориентация плоскости деформации фазы D_2 в основном направлена на юг под углом $60-40^\circ$, иногда вертикально (Рисунок 4). Вторая фаза структурных изменений менее распространена и имеет ориентацию на север с большими углами наклона, около $75-30^\circ$.

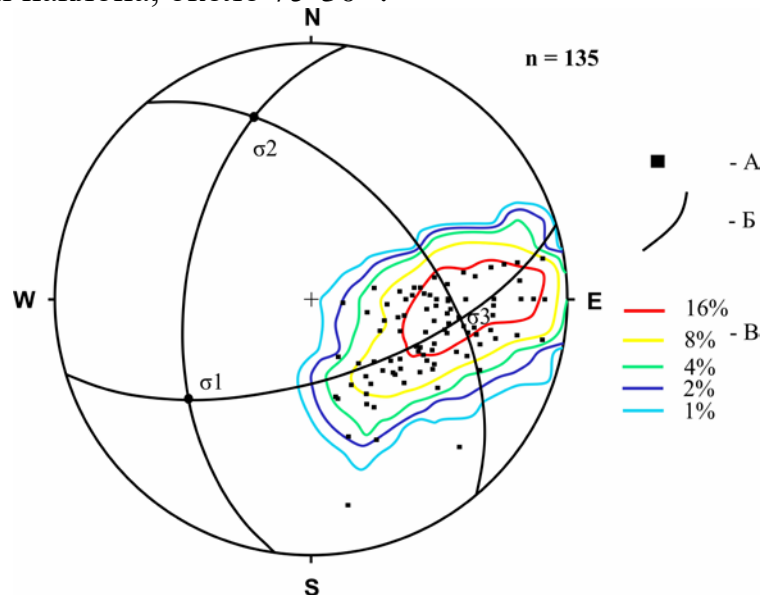


Рисунок 4 – Модель статистической системы деформации S_2 второго этапа (D_2): А - полюсы 135 трещин; Б – проекция дуги плоскостей σ_1 – 50/52, σ_2 – 163/64, σ_3 – 278/49; В – максимума трещин; n - количество замеров, выполненных автором

Обе эти структурные ориентации формируют острые сводчатые изгибы, с преобладанием оси изгиба, идущей в широтном направлении и слегка

наклоненной на юг, рассчитанные значения полей тектонических напряжений, следующие: σ_1 – 50/52, σ_2 – 163/64, σ_3 – 278/49.

Крупные тектоно-термальные изменения на этапе D_2 приводят к формированию широких антиклинорий/синклинориев простирания с востока на запад. Локальные зоны сдвига этапа D_2 , приразломные складки являлись рудоконтролирующими и рудовмещающими для кварц-золото-сульфидной минерализации. на поздних этапах происходило смещение рудных залежей. Складки F_3 обычно слабо развиты и прерывистые и как таковые не оказывают существенного влияния на региональный структурный тренд, вызванный более ранними деформационными событиями.

Для третьего этапа D_3 по трещинным структурам установлены следующие значения полей напряжений: σ_1 – 355/50, σ_2 – 113/60, σ_3 – 227/54 (Рисунок 5).

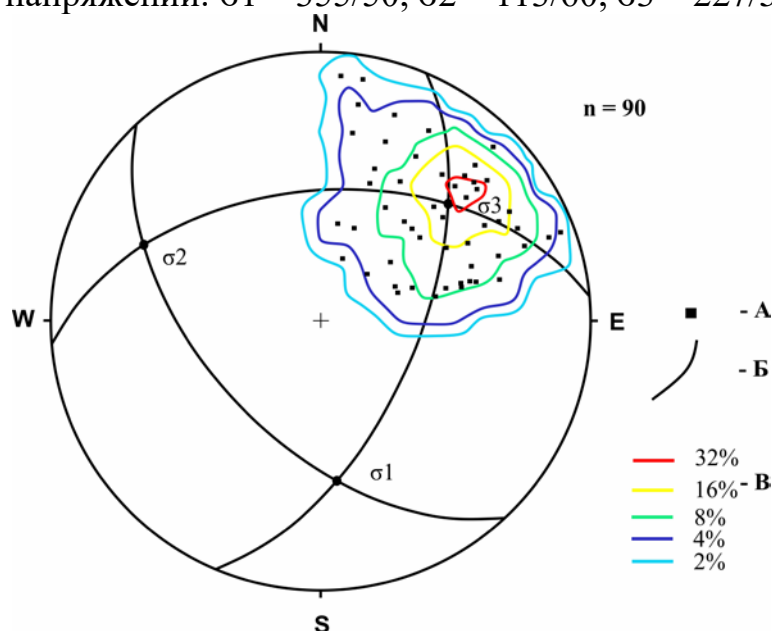


Рисунок 5 - Модель статистической системы деформации S_3 третьего этапа (D_3): А - полюсы 90 трещин; Б — проекция дуги плоскостей σ_1 – 355/50, σ_2 – 113/60, σ_3 – 227/54; В — максимума трещин; n – количество замеров, выполненных автором

Рудовмещающие структуры золотой минерализации рудных полей Фьюкшон

Второе защищаемое положение: В пределах золоторудного поля Фьюкшон рудоносные зоны рудников Байдат и Байго, локализованы в зоне окончания взбросо-сдвига. Золото-кварцевые жилы располагаются субпараллельно сланцеватости пород. Рудовмещающими являются послонные зоны тектонических нарушений, которые образовались на участке окончания взбросо-сдвига и осложняли западные крылья и замки антиклиналей. Важное значение в рудоконтроле имеют горизонты углеродистых кварц-серицитовых сланцев.

Месторождение Фьюкшон расположено примерно в 6 км к северо-западу от города Хамдык в Центральном Вьетнаме. Одноименное рудное поле занимает 60 км² (12x5 км), где отрабатываются два жильных рудных объекта Байдат и Байго (Рисунок 6).

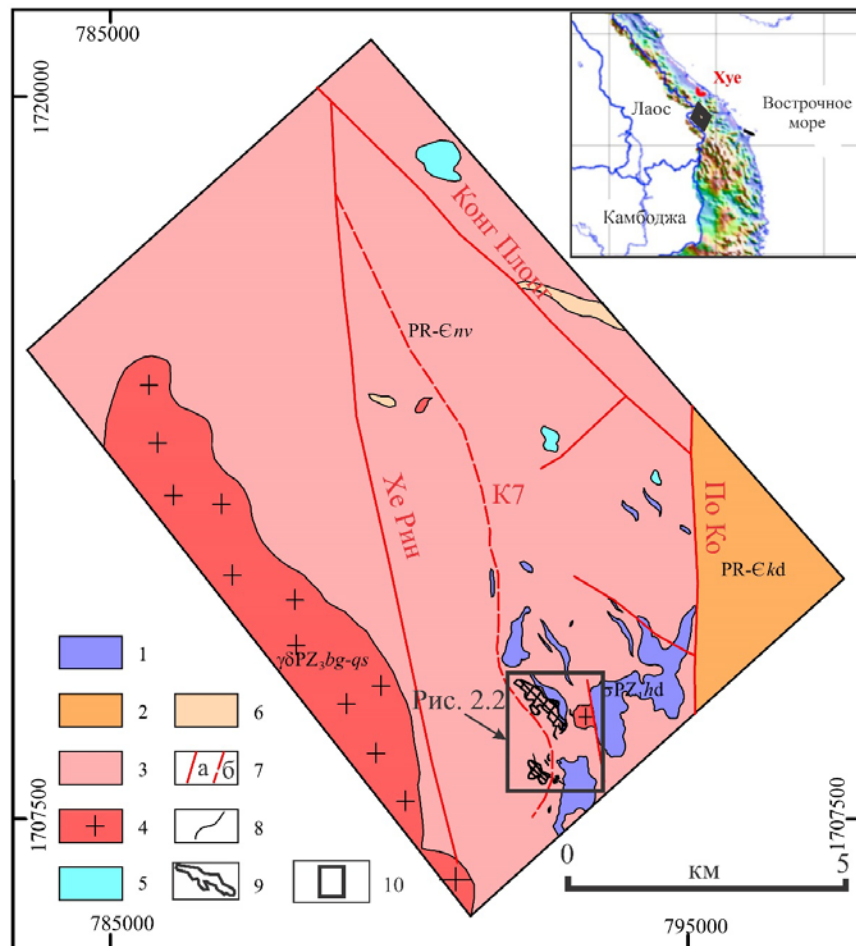


Рисунок 6 – Геологическая карта рудного поля Фьюкшон. 1 – метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиендык (σPZ_1hd); 2 – гнейсы протерозойско-нижнекембрийского комплекса Хамдык ($PR-\epsilon kd$); 3 – сланцы, филлиты, мраморы и роговики протерозойско-кембрийской толщи Нуйву ($PR-\epsilon nv$); 4 – позднепалеозойские граниты Бенжанг — Куешон (PZ_3bg-qs); 5 – андезиты неизвестного возраста; 6 – сиениты триасового возраста; 7 – разломы (а) – главные; (б) – второстепенные; 8 – геологические границы; 9 – проекции золоторудных жильных залежей; 10 – рудная поля Фьюкшон с рудными зонами месторождений Байго на севере и Байдат на юге.

Центральная часть рудного поля сложена главным образом слюдистыми и углеродистыми сланцами, филлитами, мраморами и амфиболитами, которые смяты в сложные складки. Сланцевые и филлитовые пачки слагают обширные выходы на поверхности по всей площади, мраморы и амфиболиты встречаются редко, что подтверждено бурением. В пределах рассматриваемого рудного поля закартирована сложная крупная антиклинальная структура, погружающаяся к северо-северо-востоку.

Золоторудные тела Байдат и Байго локализованы на юго-востоке рудного поля Фьюкшон, где сосредоточены штоки и силлы габбро. Породы серпентинизированы с незначительным содержанием талька и карбонатных минералов. Кварцево-золоторудные жилы приурочены к горизонтам углеродистых сланцев, включающих линзы мраморов (Рисунок 7).

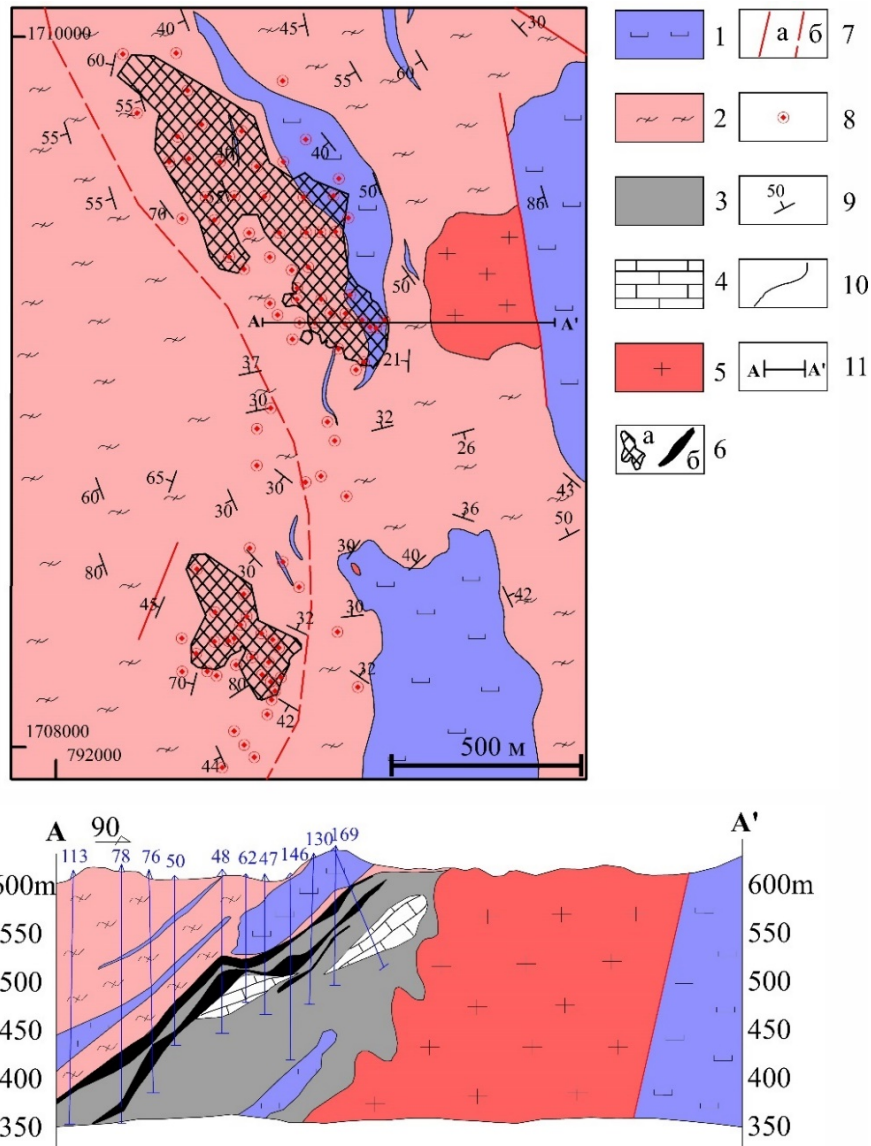


Рисунок 7 – Геологическая карта рудного поля Фьюкшон с рудными зонами месторождений Байго на севере и Байдат на юге и схематический разрез по линии А-А'. 1 – метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиендык; 2-4 – метаморфизованные вулканогенно-осадочные протерозойско-кембрийские породы толщи Нуйву (PR-Snv): 2 – сланцы и филлиты; 3 – графитистые сланцы; 4 – мраморы; 5 – позднепалеозойские граниты Бенжанг — Куешон; 6 – проекции в плане (а) и сами золоторудные сульфидно-кварцевые жилы (б); 7 – разломы главные (а) и второстепенные (б); 8 – устья скважин; 9 – элементы залегаия; 10 – геологические границы; 11 – линия разреза

Отличительными чертами коренных проявлений золота рудного поля Фьюкшон являются присутствие мелких даек и линз протерозойских серпентинитов, приуроченность оруденения к пачкам углеродистых сланцев и наличие золоторудных минерализованных зон и жил, включая седловидные залежи. На одном из профилей на участке Байдат установлена типичная седловидная рудная жила (Рисунок 8).

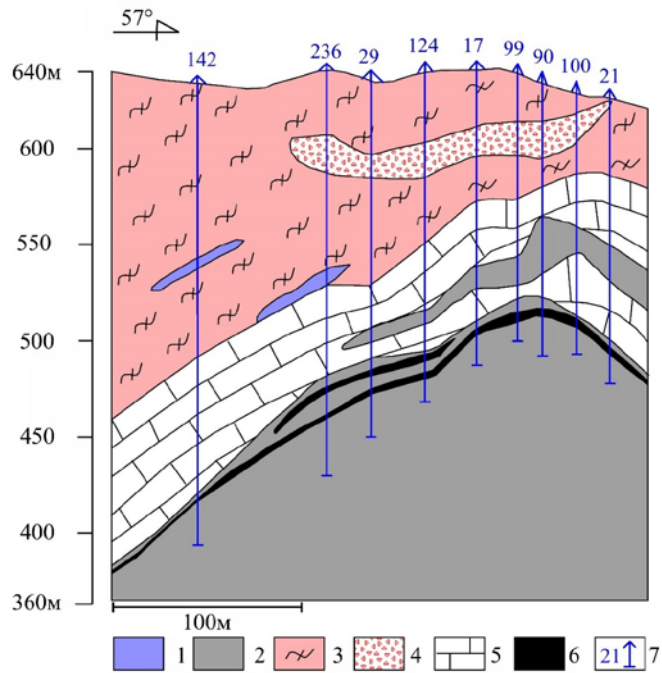


Рисунок 8 - Седловидная жила рудника Байдат.

1 – метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиендык; 2-4 – протерозойско-кембрийские породы толщи Нуйву: 2 – графитистые сланцы; 3 – сланцы и филлиты; 4 – выветрелые кварцевые зоны; 5 – мраморы; 6 – золоторудные сульфидно-кварцевые жилы; 7 – скважина и номер

Типичные разрезы по объектам Байго и Байдат с локализацией серебро-золотой полиметаллической минерализации в углеродистых сланцах приведены на рисунке 9.

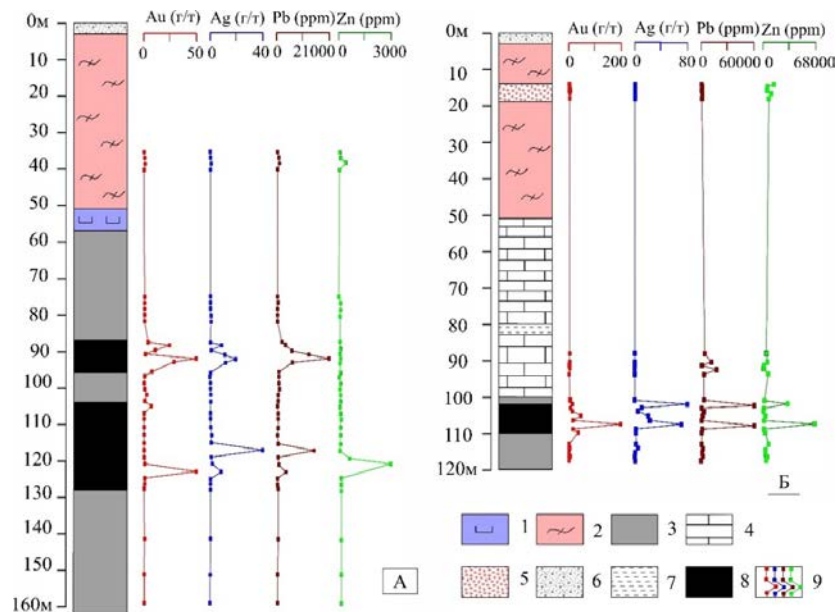


Рисунок 9 – Фрагменты схематических колонок с диаграммами содержаний Au, Ag, Pb и Zn. А – скважина 048 из Байго; Б – 013 из Байдат.

1 – метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиендык; 2-4 – протерозойско-кембрийские породы толщи Нуйву: 2 – сланцы и филлиты; 3 – графитистые сланцы; 4 – мраморы; 5 – выветрелые кварцевые зоны; 6 – выветренные сланцы; 7 – зеленые сланцы; 8 – золоторудные сульфидно-кварцевые жилы; 9 – содержания золота, серебра, свинца и цинка

Типизация золоторудных объектов района Фыоктхань - Фыокшон

Третье защищаемое положение: Золоторудные месторождения представлены золото-кварцевой с низким содержанием сульфидов (3-5% суммы сульфидов) и золото-сульфидно-кварцевой (5-50% суммы сульфидов) типами. Оба типа имеют близкие геохимические характеристики, что указывает на их образование в едином гидротермальном процессе.

На сегодняшний день в районе известно 20 коренных месторождений и рудопроявлений золота, которые имеют общие и отличительные геологические характеристики, минеральный состав, ресурсы и изученность (Таблица 1).

Таблица 1 - Некоторые характеристики золоторудных объектов рудных полей Фыокшон и Фыоктхань

№ пп	Месторождение, рудопроявление	Форма рудных тел	Среднее Содержание Au, г/т	Сумма сульфидов, %	Пробность золота, ‰	Запасы, кг
1	39	Жил-про	3.36	10	718	224
2	45	Жил-про	2.7	8	777-818	110
3	Бай Куэ	Жил-про	6.87	10	-	397
4	Бай МоКой	Зон	7.1	5	-	312
5	Ньюкчонг	Зон	1.6	6	-	321
6	Вангне	Жил-про	1.02	5	-	
7	К7	Жил-про	3	5	-	4500
8	Байдат	Жил	14.88	25	657-988	5906
9	Бай Го	Жил	4.24	10	637-880	19813
10	1А	Жил-про	7.9	5	809-825	6419
11	2	Жил-про	1.5	5	809-825	3700
12	Фыоклап	Жил-про	2.3	3	-	332
13	Г18	Жил-про	2.3	10	696-799	436
14	234	Жил-про	1.7	7		171
15	Бай Муой	Жил-про	5.2	10	668-753	264
16	Деревня 4	Жил-про	8.0	5	809-825	2344
17	Ча Ван	Жил-про	7.4	5	809-825	1413
18	Ча Ленг	Жил-про	1.3	3	653-776	2600
19	Южный Фыоктхань	Жил-про	1.4	3	696-799	1080
20	1Б	Жил-про	5.7	5	809-840	1728

Примечание: 1-9 рудные объекты поля Фыокшон, 10-20 – Фыоктхань, Жил-про: Жильно-прожилковая, Жил: Жилы, Зон: Зона минерализации

Объединяет золоторудные объекты района геологическое положение. Они локализованы: преимущественно в метаморфических сланцах протерозоя и по большей части в толще Хамдык; в экзоконтактовых зонах пермских и триасовых гранитоидных массивов; в структурах пересечения региональных взбросов и

сдвигов; участках морфологических изменений сдвигов и их сочленения с локальными складчатыми деформациями.

Применение закона Ципфа показало потенциал составил до 30 т золота, включая два объекта около 10 т и более 20 т (Рисунок 10). Эта оценка крайне зависит от надежности оценки самого крупного объекта и любое изменение может вызвать значительные изменения в оценки ресурсов золота рудного района.

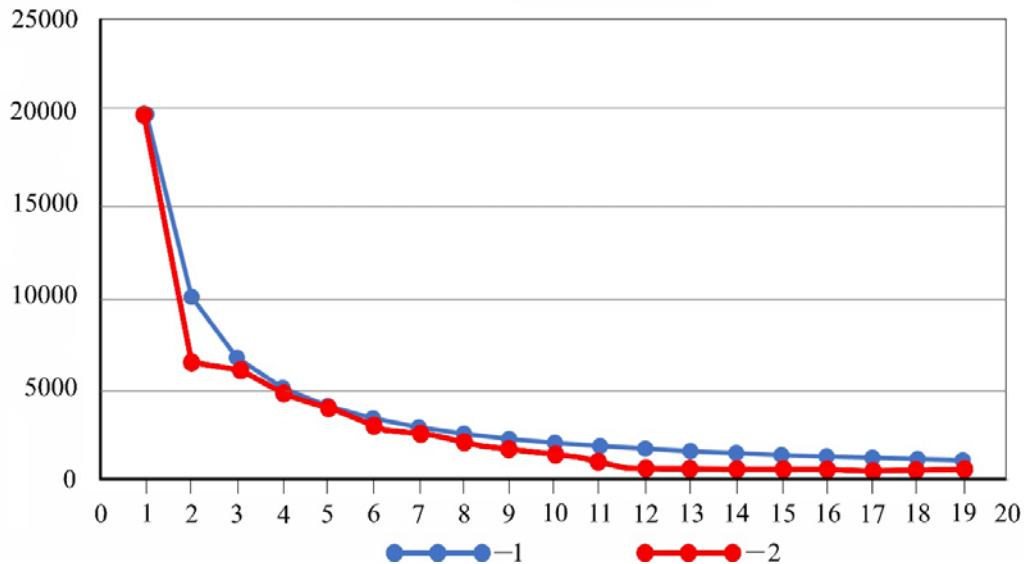


Рисунок 10 – Нисходящий порядковый ранг – теоретическая кривая Ципфа (синяя линия) и запасы известных месторождений золота Фьюктхань-Фьюкшон (красная линия).

Вещественный состав золотых руд полей Фьюктхань-Фьюкшон и представления о генезисе

Четвертого защищаемое положение: Минеральный состав руд рудных полей Фьюктхань и Фьюкшон сформирован в 4 стадии, разделенных тектоническими подвижками: в первую стадию возникли гидротермально-метасоматические породы типа березитов, во вторую - кварц-золото-малосульфидная минерализация; в третью - золото-сульфидная и в четвертую - карбонатные прожилки с переотложенными сульфидами. По геохимическим данным, изотопии серы сульфидов и газовой-жидким включениям в рудном кварце руды образовались в среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

Минеральный состав руд

В результате изучения 399 рудных шлифов выявлены наиболее распространенными рудными минералами являются пирит, халькопирит и галенит. Реже встречаются золото, сфалерит, пирротин, рутил и арсенопирит. Наиболее распространенным нерудным минералом являются кварц.

Текстуры и структуры руд

В рудах отмечены вкрапленные, микропрожилковые, брекчиевые, местами гнездовые или прожилковые текстуры (Рисунок 11, 12).

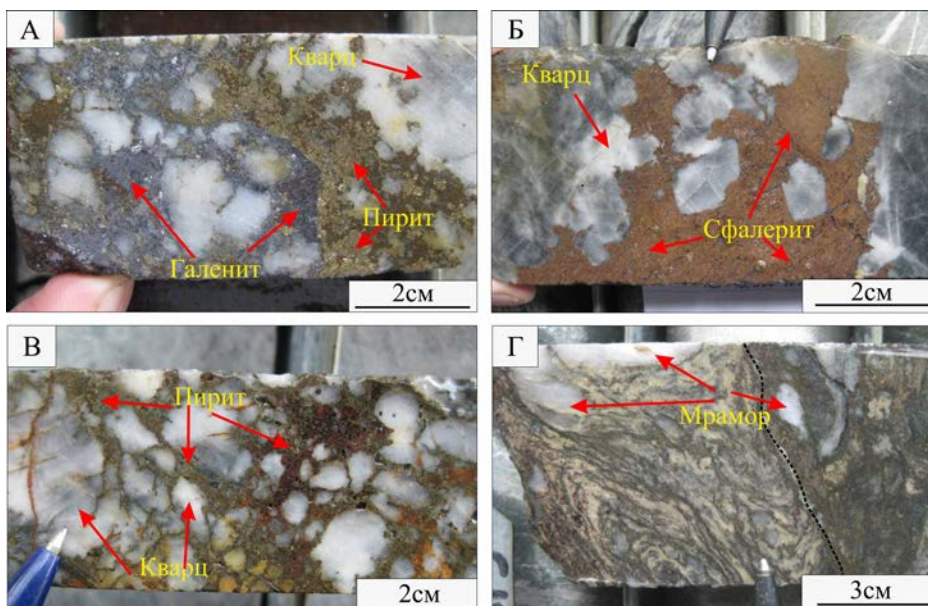


Рисунок 11 – Текстуры золото-сульфидных руд. А-В – брекчиевые и прожилковые текстуры золото-сульфидных руд. Г – вкрапленные выделения сульфидов в мраморе

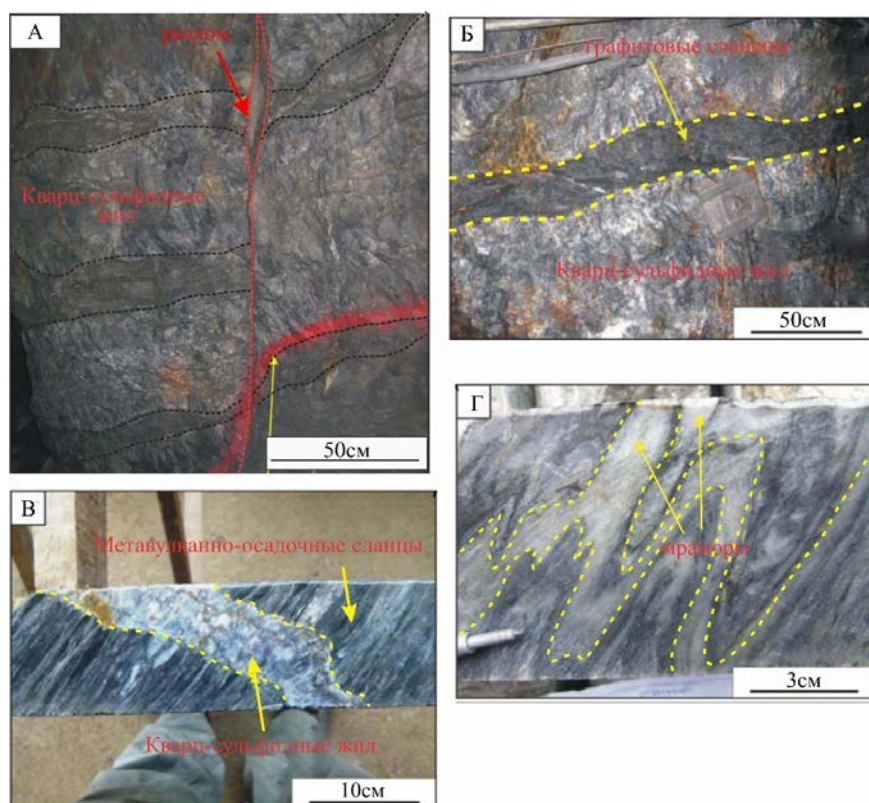


Рисунок 12 – Примеры соотношения минеральных ассоциаций рудных жил и вмещающих пород, установленных на участке подземной разработки Байдат: А – пострудный разлом, пересекающий и смещающий массивную кварц-сульфидную жилу. Б – крупный обломок углеродистого сланца, вовлеченный в массивную кварц-сульфидную жилу. В – кварц-сульфидная жила, пересекающая углеродистые сланцы, с мелкими обломками углеродистых сланцев. Г – мрамор плейчатой текстуры

Аллотриоморфная структура наиболее распространена. Коррозионная структура достаточно распространена и характерна для: пирита и халькопирита, замещающего пирротин, а также ковеллина, замещающего халькопирит (Рисунок 13).

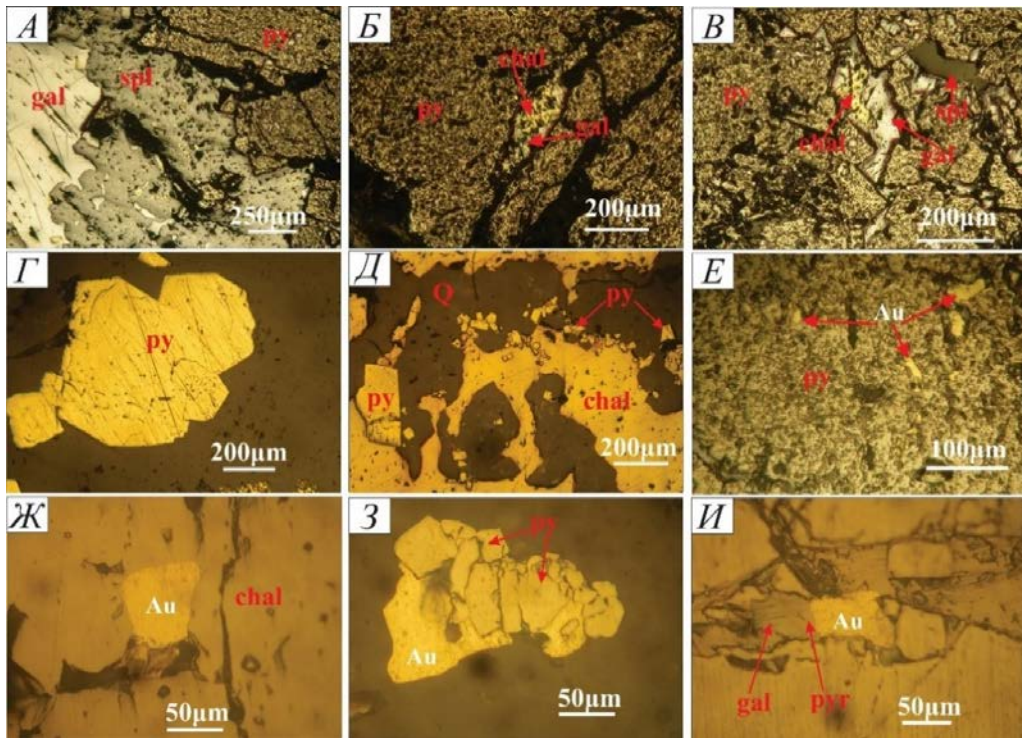


Рисунок 13 – Структуры и текстуры руд полей Фыюкион и Фыюктхань: А – коррозионная структура, галенит и сфалерит замещают пирит II; Б – прожилковая микротекстура, агрегат галенита, халькопирита и сфалерита выполняет прожилков в пирите II; В – коррозионная структура. галенит замещает пирит II; Г – идиоморфная структура пирита II; Д – интерстициальная структура, пирит с халькопиритом выполняет пространство между выделениями кварца; Е – тонко вкрапленная структура золота в пирите; Ж – структура срастания золота с халькопиритом; З – структура срастания золота с пиритом II; И – структура срастания золота с пирротином и галенитам. *chal* – халькопирит, *py* – пирит, *Q* – кварц, *gal* – галенит, *Au* – золото, *pyr* – пирротин

Температура рудообразования золотых руд в районе

Существует три типа жидкостных включений, обнаруженных в районе: тип I: это однофазные газовые включения; тип II: это двухфазные включения - тип (IIa) жидкостно-газовых включений с преобладанием жидкой фазы; тип (IIб) газо-жидкостных включений с преобладанием газовой фазы; тип III: это многофазные включения, жидкий CO_2 (IIIa). жидкий минеральные включения (твердую фазу) (IIIб) (Рисунок 14)

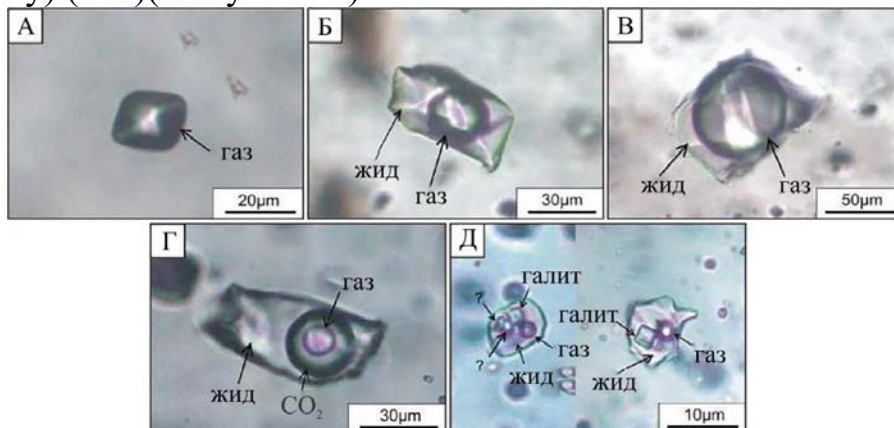


Рисунок 14 – Типы жидких включений в районе:
 А – Тип I; Б – Тип II а; В - Тип II б; Г - Тип III а; Д - Тип III б.
 Газ – газообразный; жид – жидкость; CO_2 - CO_2 жидкий

На основе результатов анализа температур в районе можно выделить 2 группы: группа с температурой от 275 до 380 °С и группа с температурой от 220 до 270 °С (Рисунок 15). Эти результаты, вместе с формой включений, указывают на возможное образование рудных зон в двух разных термических режимах, где относительно низкая температура 230-300 °С представляет основную зону минерализации в рудном поле.

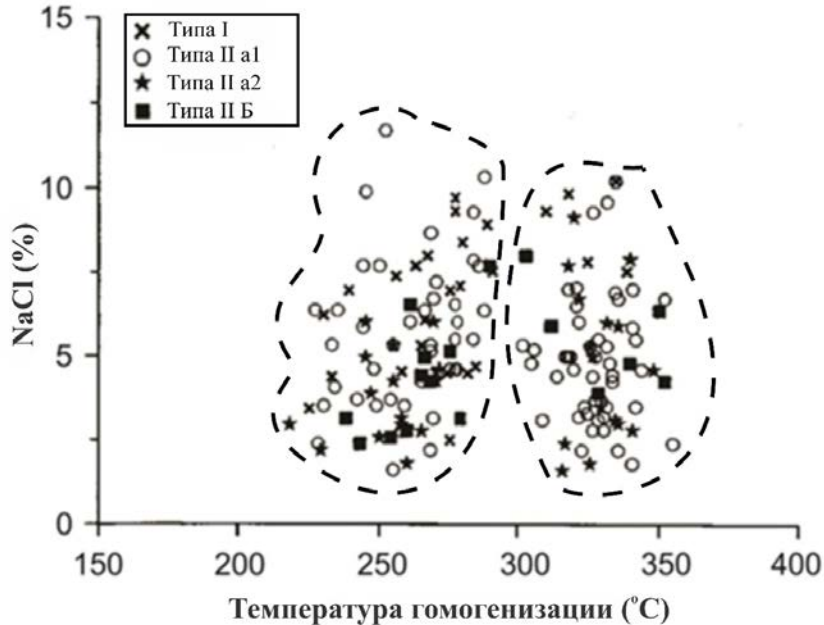




























Рисунок 15 – Диаграмма корреляции между соленостью и температурой ассимиляции в районе Фыоктхань

Последовательность формирования руд

Данные изучения текстур и структур руд в обнажениях, образцах и шлифах в совокупности с исследованием газовой-жидких включений в кварце позволили составить схему последовательности гидротермального минералообразования (таблица 4.2). Процесс минерализации включал 4 стадии: кварц-серицитовая (I), кварц-золото-малосульфидная (II) и кварц-золото-сульфидная (III) и кварц-кальцитовая (IV). Температура гидротерм изменялась от 220-270 до 275-380 °С.

Таблица 2 – Схема последовательности минералообразования рудного района Куангнам-Куанггай

Этапы и стадии	Стадии гидротермального этапа				Зона окисления
	I	II	III	IV	
	Ассоциации				
Минералы	Кварц-серицитовая	Кварц-золото-малосульфидная	Кварц-золото-сульфидная	Кварц-кальцитовая	
Кварц					
Серицит					
Хлорит					
Эпидот					

Этапы и стадии	Стадии гидротермального этапа				Зона окисления
	I	II	III	IV	
	Ассоциации				
Минералы	Кварц-серицитовая	Кварц-золото-малосульфидная	Кварц-золото-сульфидная	Кварц-кальцитовая	
Анкерит					
Рутил					
Графит					
Магнетит					
Арсенопирит					
Кальцит					
Сфалерит					
Галенит					
Пирит					
Халькопирит					
Самородное золото					
Пирротин					
Гематит					
Мельниковит					
Гидрогетит					
Гетит					
Ковеллин					
Англезит					
Скородит					
Смитсонит					
Характерные элементы	Si, Fe, S, K Al, O	Si, Fe, S As, Au, Ag	Si, Fe, S, Zn, Pb, Cu, Au, Ag, Bi	Si, Ca, O	Fe, Cu, Pb, Zn, As, O
Текстуры руд	Вкрапленная	Вкрапленная, прожилковая, гнездовая	Вкрапленная, массивная, прожилковая	Прожилковая	Пористая
	 главные	 сопутствующие	 редкие		

Геохимические характеристики руд

Для руд характерна **положительная корреляция золота с серебром**. Отличия в рудах Фьюкшон по сравнению с Фьюктхань выражены: в меньшей дисперсии содержаний золота; повышенных содержаниях кобальта, никеля и олова; значимой корреляции золота с цинком, на Фьюкшон с висмутом (таблица 3, 4). Эти данные согласно имеющимся моделям золоторудных месторождений могут указывать на большую глубинность формирования руд на Фьюкшон.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между элементами по результатам атомно-абсорбционных анализов руды поля Фьюкшон

	Au	Ag	Pb	Zn	Cd
Au	1				
Ag	0.404	1			
Pb	0.272	0.851	1		
Zn	0.456	0.581	0.524	1	
Cd	0.158	0.365	0.253	0.387	1

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между элементами по результатам атомно-абсорбционных анализов руды поля Фьюктхань

	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Ni	Co	Bi
Au	1							
Ag	0.466	1						
Pb	0.328	0.286	1					
Zn	0.043	0.384	0.392	1				
Sb	-0.096	0.076	0.362	0.474	1			
Ni	0.318	0.019	0.147	0.049	-0.063	1		
Co	0.354	0.289	0.223	0.305	0.087	0.176	1	
Bi	0.522	0.907	0.081	0.058	-0.151	-0.010	0.194	1

Вопросы генезиса оруденения

Сравнение изотопных данных серы сульфидов рудных объекта Байдат и Байго показывает, что изотопные данные серы жильного типа (от -4 до +4 ‰) (Рисунок 16) почти полностью перекрываются с диапазонами всех магматических месторождений. Эти данные свидетельствуют о магматическом происхождении серы рудных объекта Байдат и Байго.

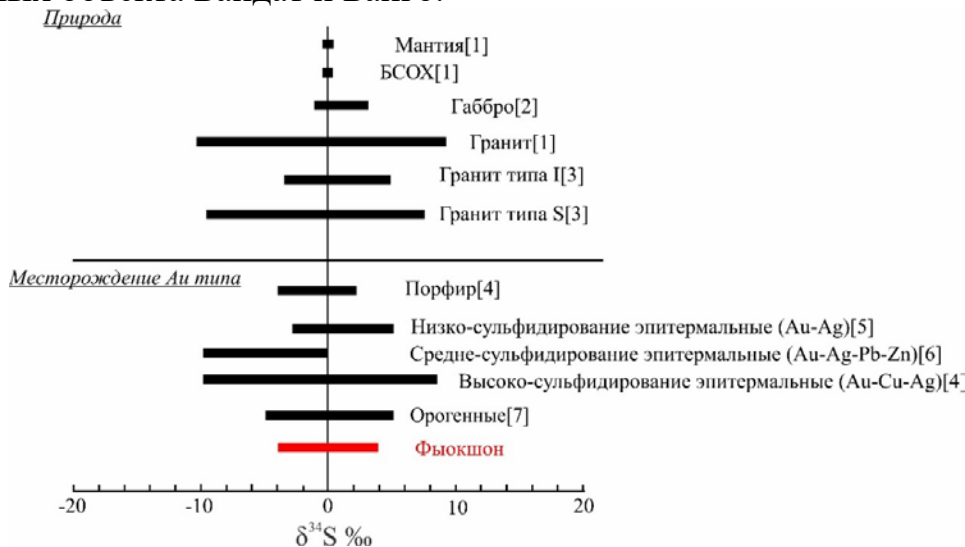


Рисунок 16 – Изменение значения $\delta^{34}\text{S}$ в магматической сере месторождений и природе 1-7 – богатые серой Ni-Cu- (PGE) месторождение: 1 – Rollinson (1993); 2 – Sasaki and Ishihara (1979); 3 – Coleman (1977); 4 – Cooke and Simmons (2000); 5 – Christie et al. (2007); 6 – Camprubi and Albinson (2007); 7 – Hodkiewicz et al. (2009);

Изотопные данные Н-О включений в кварце показывают, что значения δD_{V-SMOW} рудообразующего флюида составляют от -55 до -59 ‰ соответственно, причем все они относятся к диапазону магматических, метаморфических и осадочных пород (Рисунок 17). Соответственно значения $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ составляют 13,1-14,2‰ (Рисунок 17); они располагаются в диапазоне осадочных пород и метаморфических пород.

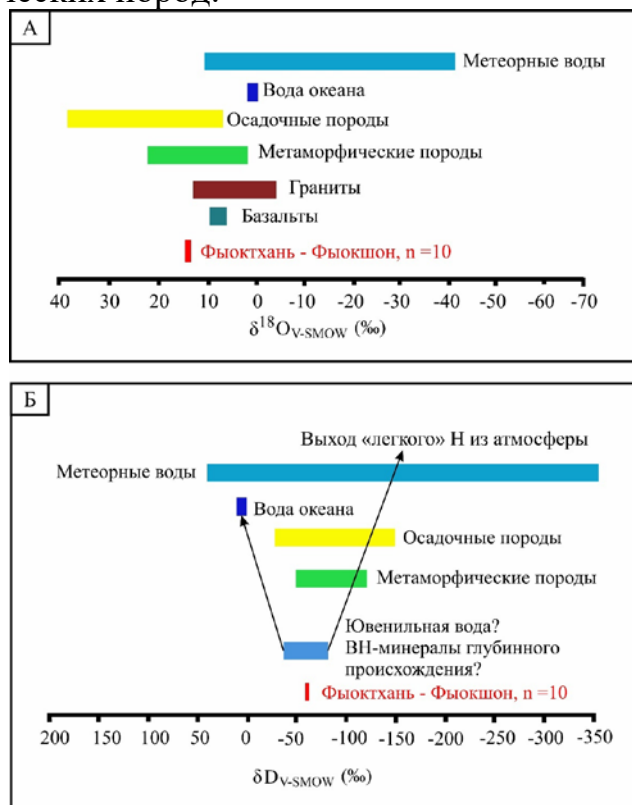


Рисунок 17 – Диаграммы сравнения δD_{V-SMOW} (a) и $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (b) рудообразующего флюида Фыоктхань-Фыокшон с природными системами (с изменениями по Hoefs).

Прогнозно-поисковые критерии золотого оруденения

На основе полученной геолого-генетической модели месторождения Байдат, Байго и Фыоктхань, результатов проведенных исследований и опубликованных данных выделены прогнозно-поисковые критерии орогенного золотого оруденения:

Структурно-тектонические критерии. Существование трансоровых разломов надвиговой кинематики СЗ простирания, области их разветвления и окончания. Оруденение локализуется в одном из швов зоны глубинного разлома Поко, на участке его развития в складках высокого порядка.

Литологические критерии. Приуроченность оруденения к терригенным толщам протерозойского возраста, а в их пределах преимущественно к черносланцевым и их контактам с алевролитами и мраморами. Кварцево-золоторудные жилы приурочены к горизонтам углеродистых сланцев, включающих линзы мраморов.

Магматические критерии. В рассматриваемом районе интрузивы имеют разный состав возраст и происхождение. Следует обратить внимание на граниты типа I Бенжанг-Куешон, граниты типа S Чулай, особенно пермские граниты типа S и мало эрозированные штоки.

Метасоматические критерии. В районе распространены околорудные метасоматиты пирит-серицит-карбонат-кварцевого состава.

Минералого-геохимические критерии. В районе Фьюктхань-Фьюкшон развиты жильные и прожилковые пирит-арсенопиритовая, пирит-арсенопирит-кварцевая и золото-полисульфидная минеральные ассоциации. Золото ассоциирует с наиболее поздними генерациями сульфидов - прежде всего, с галенитом, блеклыми рудами, сфалеритом и поздними генерациями пирита, халькопирита и арсенопирита

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Район Куангнам-Куангнай — это крупная структура земной коры в Центральном Вьетнаме, включающая часть складчатого пояса Чьонгшон и сочетающая различные типы пород разного возраста и происхождения, сформировались вдоль северной окраины массива Контум, где произошло много деформационных событий. Последовательное наложение структур, созданных этими событиями, привело к сложной картине, которую можно наблюдать на микро- и макроскопическом уровнях.

Предыдущими исследователями установлены пять поколений формирования региональных структур, которые идентифицированы на основе стиля их деформации, ориентации и временных взаимоотношений. Крупномасштабные зоны сдвига, простирающиеся на сотни километров, как правило, в юго-западном направлении, являются характерными тектоническими элементами центрального Вьетнама. Первый этап деформирования D_1 сопровождался метаморфизмом от умеренного до высокого и, вероятными вязко-пластическими нарушениями. Автор подтвердил по интерпретации авторских замеров трещин и осей складок подтвердил рудоконтролирующее значение сдвигов второго этапа D_2 .

Автор по имеющейся информации по 20 золоторудным объектам района использовал правило Ципфа для оценки остаточных ресурсов. Показано, что их потенциал составил до 30 т золота, включая два объекта около 10 т и более 20 т.

Впервые установлены закономерности локализации золоторудных проявлений в районе Фьюктхань-Фьюкшон: жильные и жильно-прожилковые рудные тела контролируются взбросо-сдвигами, включая субпослойные, замковыми частями и крыльями антиклиналей в углеродистых сланцах в экзоконтактовых ореолах позднепалеозойских и триасовых гранитов.

Автором определено, что минеральный состав руд рудных полей Фьюкшон и Фьюктхань сформирован в 4 стадии: в первую возникли гидротермально-метасоматические породы типа березитов, во вторую - кварц-золото-малосульфидная минерализация; в третью - золото-сульфидная; в четвертую - карбонатные прожилки с переотложенными сульфидами. По геохимическим данным, изотопии серы сульфидов, изотопам кислорода и газовой-жидким включениям в рудном кварце руды образовались в среднетемпературных условиях при участии глубинных флюидов.

При комплексном применении указанных критериев и признаков при детальном поиске можно ожидать открытие новых золоторудных объектов в том числе и средних по запасам месторождений в Фьюктхань-Фьюкшон.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:**

1. 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.

2. **Чан В.Т.**, Игнатов П.А., До М.Ф. Геологическое положение и вещественный состав руд золоторудных месторождений района Куангнам–Куангнгай, Центральный Вьетнам // Разведка и охрана недр. 2022, №12, С. 19–27.

3. **Т. Чан Ван**, П. А. Игнатов, Т. Май Чонг. Закономерности локализации золотой минерализации в районе Фьюкшон, Центральный Вьетнам// Известия вузов. Геология и разведка. 2023, №1, С. 15–27.

Публикации в иных научных изданиях

1. **Чан В.Т.** Геологическое строение и характеристики золотых руд района Трабонг–Трами, Центральный Вьетнам, «XV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 01–02 апреля 2021. 2021. Том 2. С. 124–127.

2. **Чан В.Т.** Геохимические особенности золотого оруденения рудного поля Фьюктхань, Центральный Вьетнам// XXVI Международный научный симпозиум имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», 4–8 апреля 2022. Том 1 С. 100–102.

3. **Чан В.Т.**, Игнатов П.А. Факторы локализации месторождения золото в районе Куангнам-Куангнгай, Центральный Вьетнам // XI Российской молодёжной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования», 28 ноября – 02 декабря 2022 г. С. 301–303.

4. **Чан В.Т.**, Игнатов П.А. Вопросы генезиса золотой минерализации в районе Фьюкшон, Центральный Вьетнам, XVI Международная научно-практическая конференция "Новые идеи в науках о Земле", 06–07 апреля 2023. 2023.