



## МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАХТНОЕ (ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКИЙ РЕГИОН)

Чепурнов И. А., Грановская Н. В. ORCID ID 0000-0002-5232-1960

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация,  
e-mail: chepurnov.04@mail.ru*

Месторождение Шахтное локализовано в Урынском золоторудном районе Берелехского рудного узла Яно-Колымского складчатого пояса (Магаданская область). Цель исследования – определение минерального состава и парагенетических ассоциаций руд, локализованных в березитизированных дайках диорит-порфириров позднеюрского nera-бохапчинского комплекса (J<sub>3</sub>nb). Исследования базировались на данных полевых работ, фондовых геологических материалов, лабораторных анализов (минераграфического, микрозондового, метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией). Во время полевых работ произведена документация главного рудного тела в карьере «Шахтный». Отобраны типовые образцы руд и вмещающих пород для аналитических исследований. Установлено, что оруденение относится к дайковому типу золото-кварцевой формации. Сульфиды представлены в основном двумя генерациями пирита и арсенопиритом. Выделяется несколько разновидностей золота: высокопробное самородное в виде отдельных зерен (совместно с жильным кварцем, халькопиритом, сфалеритом, галенимом) и тонкодисперсное в арсенопирите и позднем пирите. Богатые участки рудных тел характеризуются наличием сетчатых кварцево-прожилковых зон со свободным золотом в метасоматически измененных дайковых телах. Аномалии мышьяка в рудоносных дайках являются благоприятным, но недостаточным признаком высоких содержаний золота. Более достоверными являются комплексные аномалии As-Cu-Pb-Zn. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования и поисков рудного золота в Урынском рудном районе Центрально-Колымского региона.

**Ключевые слова:** Урынское рудное поле, месторождение Шахтное, рудная минерализация, Магаданская область, дайки диорит-порфириров, золото-кварцевая формация

## MINERALOGY OF GOLD ORE FORMATIONS OF THE SHAKHTNOE DEPOSIT (CENTRAL KOLYMA REGION)

Chepurnov I. A., Granovskaya N. V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“Southern Federal University”, Rostov-on-Don, Russian Federation,  
e-mail: chepurnov.04@mail.ru*

The Shakhtnoe deposit is located in the Uryinsky gold ore field of the Berelekh ore cluster within the Yana-Kolyma folded belt (Magadan Region). The aim of the study is to determine the mineral composition and paragenetic associations of ores localized in beresitized dikes of diorite porphyrites of the Late Jurassic Nera-Bohapchinsky complex (J<sub>3</sub>nb). The study is based on fieldwork data, archival geological materials, and laboratory analyses (mineragraphic, electron microscopy, inductively coupled plasma and laser ablation mass spectrometry method). During field work, documentation of the main ore body in the “Shakhtny” open pit was carried out. Representative samples of ores and host rocks were collected for analytical studies. It has been established that the mineralization belongs to the dike type of the gold-quartz formation. Sulfides are mainly represented by arsenopyrite and two generations of pyrite. Several types of gold are distinguished: high-grade native gold in the form of individual grains (associated with vein quartz, chalcopyrite, sphalerite, galenite) and finely dispersed gold in arsenopyrite and late pyrite. High-grade sections of ore bodies are characterized by the presence of stockwork quartz-veinlet zones with free gold in metasomatically altered dike bodies. Arsenic anomalies in ore-bearing dikes are a favorable but insufficient indicator of high gold concentrations. Complex anomalies As-Cu-Pb-Zn are more reliable. The obtained results can be used for forecasting and exploration of ore gold in the Uryinsky ore district of the Central Kolyma region.

**Keywords:** Uryinsky ore field, Shakhtnoe deposit, Magadan Region, diorite porphyrite dikes, ore mineralization, gold-quartz formation

### Введение

Золоторудное месторождение Шахтное расположено в Сусуманском районе Магаданской области. Исследуемая территория локализована в пределах Урынского рудного поля Берелехского рудного узла, являющихся частью Яно-Колымского орогенического пояса.

С 1930-х гг. данный район известен уникальной Чай-Урынской россыпью золота, а коренное золото было обнаружено в 1974–1976 гг. при проведении прогнозного бурения (Н. В. Хандожко), в результате которого была выявлена слабая, неравномерная золотоносность даек, размещенных в мощной зоне дробления. На основании последую-

щих поисковых работ (Е. Г. Дубинин, 1996; И. В. Малевич, 1999) была предложена гипотеза о локализации золотого оруденения в крутопадающих кварцево-жильных телах, оперяющих зону Главного Чай-Урьинского разлома. Геологами В. В. Петуховым и др., проводившими поисковые работы в пределах Чай-Урьинской перспективной площади в 1997–2002 гг., впервые обоснована комплексная модель формирования и размещения золотого оруденения жильно-прожилкового, прожилкового и дайкового геолого-промышленных типов. По результатам интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных было выявлено перспективное Чай-Урьинское рудное поле, в пределах которого оконтурены три прогнозные зоны. Основные промышленно важные объекты рудного золота Чай-Урьинской площади были открыты и изучались в 2016–2018 гг. ООО «ГРК БарГолд», ООО «Золотодобывающая корпорация», ООО «Статус». К ним относятся рудопоявления Верхний Власыч, Нижний Власыч и месторождение Шахтное, которые в настоящее время объединены в единое Урьинское рудное поле.

Актуальность исследований определяется тем, что в пределах Урьинского рудного поля и всего Берелехского рудного узла продолжают поиски новых рудных тел и необходимы надежные прогнозные признаки для их обнаружения, в том числе явно выраженные минералогические. Несмотря на многолетнее изучение территории, остаются спорными вопросы о рудогенерирующей роли даек, стадийности рудных и прерудных гидротермальных и метасоматических процессов, парагенетических ассоциациях минералов и формах нахождения золота в рудных телах.

Наиболее значимый объект Урьинского рудного поля, месторождение Шахтное, в настоящее время эксплуатируется карьерным способом и наиболее открыто для изучения, поэтому выбрано нами в качестве эталонного объекта для проведения минералогических исследований.

**Цель исследования** – определение минерального состава и парагенетических ассоциаций руд, локализованных в березитизированных дайках диорит-порфиритов месторождения Шахтное.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом для исследования являлись выходы рудоносной свиты даек, представляющих собой главное рудное тело место-

рождения Шахтное и вскрытых в карьере «Шахтный» на горизонте 25–35 м.

Методика исследования включала полевые работы, аналитические исследования, обзор и анализ литературных источников и фондовых геологических материалов.

Во время полевых работ осуществлялось детальное обследование месторождения, геологическая документация и опробование рудных зон. Особое внимание уделялось комплексному изучению крутопадающих рудоносных даек с отбором типовых образцов по разрезам главного рудного тела и его апофиз, а также вмещающих пород. Поисковые маршруты проводились в пределах всей Чай-Урьинской площади, что позволило получить общие представления об особенностях рудной минерализации района в целом.

При аналитических исследованиях типовых образцов руд месторождения Шахтное применялись минераграфический, рентгеноспектральный микрозондовый анализ, метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (LA-ISP-MS). В исследованиях использовались рудный микроскоп ЛОМО ПОЛАМ Р-312 (Институт наук о Земле ЮФУ), растровый электронный микроскоп Tescan Vega II LMU, энергодисперсионный микроанализатор INCA Energy 450 XT и волнодисперсионный микроанализатор INCA Wave 700 (ЦКП «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» ЮФУ), масс-спектрометр Thermo XSeries с системой лазерного проотбора New Wave Up213 (Лаборатория анализа минерального вещества ИГЕМ РАН).

При минераграфических исследованиях полированных шлифов руд проводилась диагностика главных, второстепенных и редких минералов с определением их морфологических взаимоотношений, а также выделялись генерации и парагенетические ассоциации минералов на основании перерывов в минералообразовании. Одновременность и последовательность образования минералов выявлялись по структурно-морфологическим признакам (наличию аллотриоморфных сростаний, метакристаллов и метазерен, признакам коррозии и замещения, пересечения, дробления). С помощью микрозондовых анализов подтверждались первичные минералогические данные, уточнялся состав минералов, выявлялись мелкие выделения сульфидов и самородного золота. Использование LA-ISP-MS метода позволило установить наличие и распределение

элементов примесей в главных сульфидных минералах руд – пирите и арсенопирите.

### Результаты исследования и их обсуждение

Месторождение Шахтное относится к Урьинскому рудному полю в юго-восточной части Яно-Колымского орогенного пояса и приурочено к сочленению двух региональных структур: Ильяни-Дебинского мегасинклинория и Аян-Юряхского антиклинория, сочленяющихся по Чай-Урьинскому глубинному разлому [1]. Локализацию золоторудных объектов Урьинского рудного поля определяет Главная Чай-Урьинская зона разломов, которая имеет северо-западное простирание, ширину 4–6 км и сопровождается зоной интенсивного смятия и кливажа. На территории развиты терригенные, вулканогенно-терригенные отложения от позднепермского до среднеюрского возраста. Тектоническую структуру района подчеркивают многочисленные дайки кислого состава позднеюрского, позднеюрского-раннемелового и раннемелового возраста, представленных соответственно тремя комплексами: диоритовым нера-бохапчинским ( $J_3nb$ ), диорит-гранит-гранодиоритовым басугуньинским ( $J_3b$ ) и гранодиорит-гранитовым таскыстабытским ( $K_1tk$ ).

С позднеюрскими и меловыми интрузивными комплексами гранитоидного состава связывается большинство плутоногенно-гидротермальных месторождений золота Яно-Колымской металлогенической провинции [2–4].

Дайки диорит-порфириров наиболее древнего позднеюрского нера-бохапчинского комплекса являются рудоносными на месторождении Шахтное и рудопроявлении Верхний Власыч. Они отличаются интенсивными метасоматическими преобразованиями березитового типа. Первичный состав даек устанавливается только по реликтовым структурам, а сами дайки почти нацело сложены вторичными минералами.

Помимо золотоносных даек в пределах Урьинского рудного поля обнаружены линейные минерализованные зоны дробления в осадочных породах с многочисленными кварцевыми телами сложной формы ветренского типа [5] в сочетании с параллельными или оперяющимися жилами.

*Геологические особенности месторождения Шахтное.* Месторождение Шахтное вскрыто карьером, на котором ведется промышленная добыча золота. Рудная минерализация локализована в пределах

субпараллельных метасоматически измененных даек диорит-порфириров, которые пересекаются мощной тектонической зоной. Дайки контролируются разломами северо-западного простирания, которое примерно совпадает с простиранием вмещающих осадочных пород. Вмещающие породы представлены триасовыми алевролитами, углеродистыми аргиллитами с редкими прослоями алевролитов и песчаников.

Рудоносные крутопадающие дайки группируются в свиты, мощностью в центральной части месторождения около 80 м, а на флангах – 20–40 м. Число даек в свитах колеблется от 5 до 12; мощность отдельных даек 1–10 м; прослеженная протяженность по простиранию – до 2000 м, по падению – до 200 м. Обследование фрагмента главного рудного тела в стенке карьера показало, что метасоматически измененные диорит-порфириды перемежаются с маломощными (до первых метров) полосами вмещающих осадочных пород: черных аргиллитов с прослоями известковых песчаников. Дайки содержат осветленные участки с кварцевыми метасоматитами, а также зоны дробления и катаклаза с лимонитизацией и штокверковым кварцевым прожилкованием. Золотое оруденение приурочено к наиболее окварцованным участкам березитизированных даек с пересекающимися паукообразными кварцевыми прожилками и вкрапленной сульфидизацией (рис. 1). В рудных столбах в пределах даек кварц составляет 30–40 %, а иногда до 70 % объема пород. Распределение золота в зонах окварцевания неравномерное (от одного до десятков г/т).

В целом месторождение Шахтное относится к дайковому типу, когда рудными телами являются сами окварцованные и минерализованные дайки [6–8]. Дайковый тип золоторудных объектов широко распространен на территории Северо-Востока России [9, 10].

*Минералогия рудных образований.* Минеральный состав руд определяется преобладанием жильного кварца с вкрапленностью и гнездами сульфидов (от первых процентов до 5–7 %), наличием видимого мелкого и среднего самородного золота, а также тонкодисперсного золота в пирите и арсенопирите. Среди сульфидов наибольшее распространение имеют пирит и арсенопирит, в резко подчиненных количествах присутствуют сфалерит, галенит, халькопирит и блеклые руды (рис. 2). По данным микроскопических исследований в работе [11] в рудных образованиях месторождения Шахтное отмечался также пирротин.

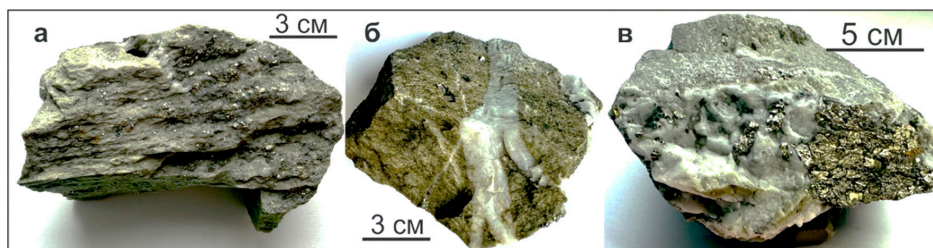


Рис. 1. Типовые образцы из рудоносной дайки: а – окварцованный диорит-порфирит с вкрапленностью сульфидов; б – сетчато-кварцевые прожилки в березитизированных диорит-порфиритах; в – пирит в кварцевом прожилке  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

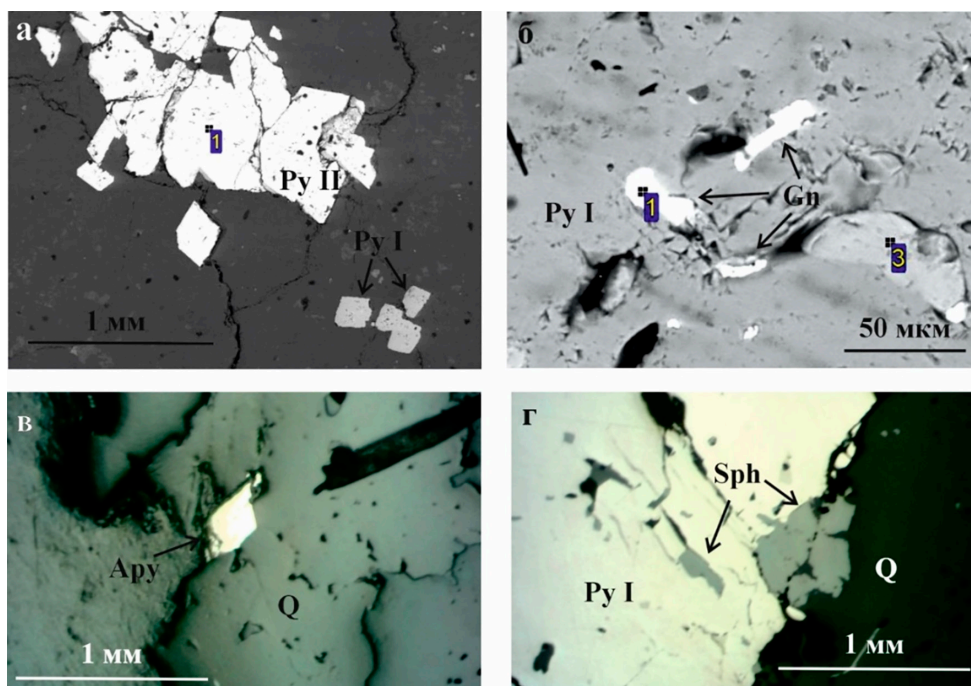


Рис. 2. Сульфидные минералы в кварцевых жилах и метасоматитах: а, б – микрофотографии в отраженных электронах: а – метакристаллов пирита-1 (Py I), и мышьяковистого пирита-2 (Py II), б – метазернистые выделения галенита (Gn) по трещинам в пирите-1; в, г – фото анизифов: в – метакристалл арсенопирита (Apy) на контакте кварцевого прожилка (Q) и метасоматита; г – пирит-1 с микропрожилками и метазернами сфалерита (Sph) с коррозионными границами  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Пирит является главным сульфидным минералом, наблюдается в зернах размером 0,02–5 мм и представлен двумя генерациями (рис. 2, а). Пирит-1 наблюдается в виде вкрапленности в березитизированных диорит-порфиритах, кварцевых метасоматитах. Ранний пирит часто катаклазирован, пересекается кварцевыми прожилками, содержит тонкие просечки и метазерна сфалерита, галенита с коррозионными границами. Пирит-2 также образует метазерна и метакристаллы в метасоматитах, но для него характерны более белая окраска в отраженном свете, аллотриоморфные срастания с зернами жильного

кварца, сфалеритом и самородным золотом. По данным микрозондового анализа главным отличием пирита-2 от пирита-1 является повышенное содержание As до 10 мас. %.

Арсенопирит отличается ромбовидными сечениями кристаллов (рис. 2, в), длинно призматическими формами, яркой белой окраской и анизотропией в отраженном свете. Размер кристаллов 0,05–1,5 мм. Характерна приуроченность арсенопирита к зонам кварцевого прожилкования. Срастания кубических кристаллов позднего пирита с ромбическими кристаллами арсенопирита указывает на их близко одновременное образование.

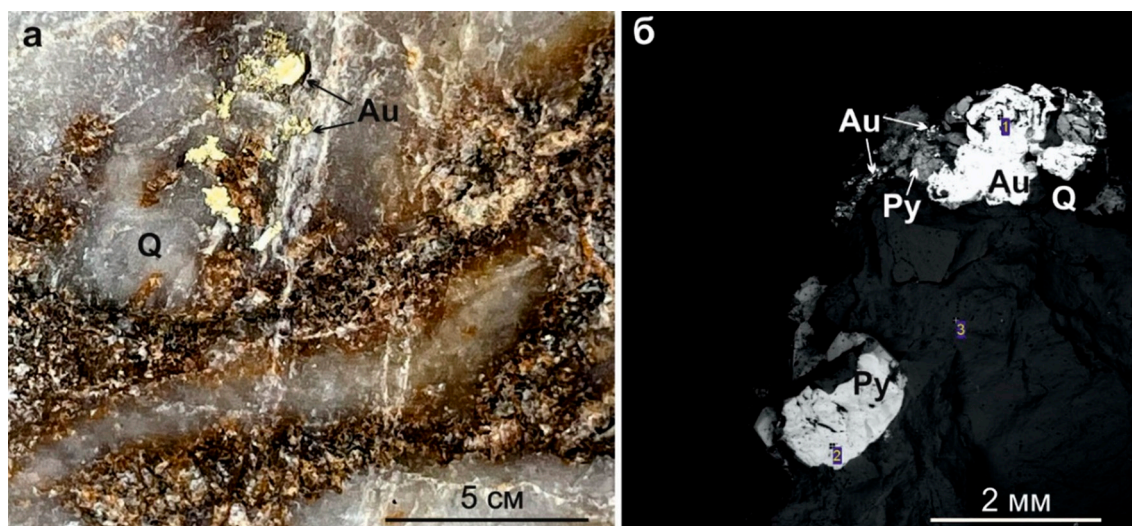


Рис. 3. Самородное золото (Au) с кварцем (Q) и пиритом (Py) в главном рудном теле месторождения Шахтное: а – фото фрагмента образца кварцевой жилы с вкрапленностью золота; б – микрофотография выделений золота в сростании с мышьяковистым пиритом в отраженных электронах  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Сфалерит наблюдался в виде мелких единичных зерен (размером 0,0002–0,5 мм) совместно с пиритом-2, а также в прожилках кварца. Является более поздним по отношению к пириту-1, так как пересекает его в виде прерывистых микропрожилков и метазерен с коррозионными заливообразными границами (рис. 2, г).

Галенит – по количеству, размеру выделений и морфологическим особенностям аналогичен сфалериту. Метазерна галенита (размером от 20–50 мкм до 0,01 мм) с коррозионными границами приурочены к микротрещинам в пирите-1 (рис. 2, б).

Халькопирит и блеклые руды являются редкими минералами, встречаются в виде единичных мелких зерен (менее 0,1–0,5 мм) в кварцевых прожилках. Минералы, представленные сульфидами меди, часто образуют сростания с самородным золотом.

Золото наблюдалось в свободном состоянии в виде зерен (0,01–20 мм) и гнездообразных скоплений до 5 см в поперечнике (рис. 3, а). Видимое золото локализовано преимущественно в кварцевых жилах и прожилках, которые образуют штокверки в метасоматически измененных дайковых телах. Отмечались сростания золота с мышьяковистым пиритом второй генерации (рис. 3, б), халькопиритом, галенитом, блеклыми рудами. Пробность золота по данным микрозондового анализа – 887–881, примесь серебра – в среднем 11,5 %.

Тонкодисперсное золото в мышьяковистом пирите-2 и арсенопирите было об-

наружено при проведении анализа рудных минералов методом LA-ISP-MS.

На рис. 4, а, показано, что в катаклазированном пирите первой генерации (с кварцевыми прожилками по трещинам) основными элементами являются Fe и S. Арсенопирит (рис. 4, б) отличается ярко выраженной линией As и примесью Au (0,235 ppm). Выдержанный характер линии золота во время абляции свидетельствует о том, что золото, вероятно, присутствует здесь в виде изоморфной примеси. В пирите-2 (рис. 4, в) отмечаются повышенные содержания As, а также золота (0,028 ppm) в виде неравномерно рассеянных микровключений.

Анализ полученных данных позволяет выделить две главные стадии постмагматического минералообразования: метасоматическую и рудную гидротермальную. Пирит-1 является ранним рудным минералом и, возможно, относится к предрудной метасоматической (березитовой) стадии. В гидротермальную стадию формировались минералы золоторудной парагенетической ассоциации: жильный кварц, золотоносный мышьяковистый пирит-2, золотоносный арсенопирит, самородное золото, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды. Невидимое золото в рудно-гидротермальном мышьяковистом пирите характерно для золото-кварцевых месторождений Колымского района [12, 13] и может быть обусловлено присутствием наноразмерных частиц золота [14].

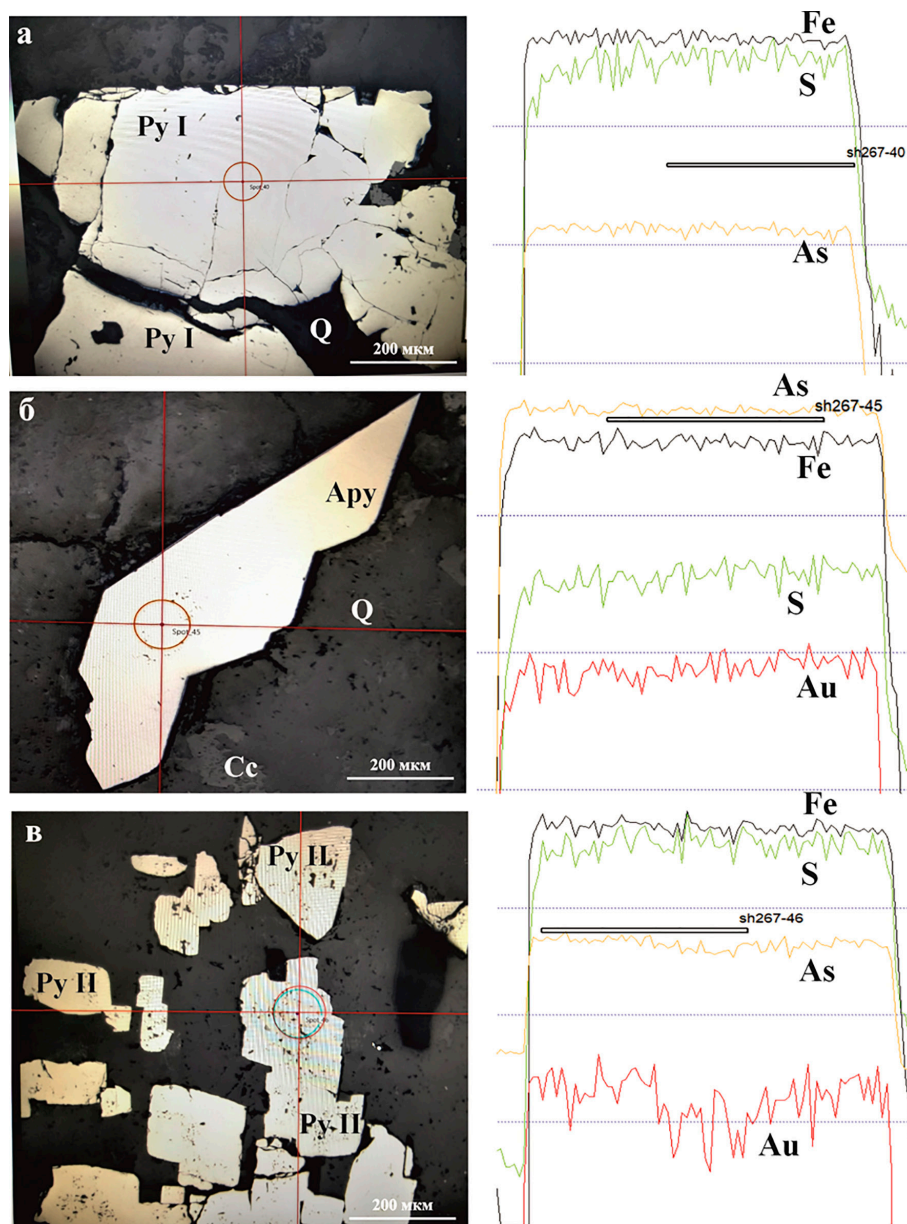


Рис. 4. Результаты исследований рудных минералов методом LA-ISP-MS:  
 а – пирит-1 (Py I), катаклазированный с кварцевыми прожилками (Q);  
 б – арсенопирит (Apy) с изоморфной примесью золота в кварцевом метасоматите (Q)  
 с карбонатами (Cc), в – мышьяковистый пирит-2 (Py II) с тонкодисперсным золотом  
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Проведенные исследования подтверждают, что руды месторождения Шахтное относятся к золото-кварцевой формации. Данный тип широко представлен на месторождениях региона и отличается хорошей извлекаемостью золота из руд: до 92–98 % [15].

Отчетливая связь Au с As характерна для малосульфидной золото-кварцевой формации, что является основанием для поисков золота по геохимическим аномалиям мышьяка. Однако в пределах Урьинского

рудного поля, при наличии аномалий As, часто не обнаруживают промышленных скоплений золота. Это свидетельствует о том, что наличие арсенопирита, в котором золото присутствует в виде изоморфной примеси, является благоприятным, но недостаточным признаком для поисков богатых руд. Изучение месторождения Шахтное показало, что рудные столбы в минерализованных дайках обязательно содержат видимое свободное золото в жильном кварце в ассоциации

с мышьяковистым пиритом второй генерации и разнообразными сульфидами. Поэтому более достоверными для геохимических поисков золотого оруденения на данной территории будут комплексные аномалии As-Cu-Pb-Zn.

### Закключение

Месторождение Шахтное относится к дайковому типу и золото-кварцевой малосульфидной формации. Скопления золота и сульфидов в рудных столбах приурочены к кварцевым сетчато-прожилковым, паукообразно-прожилковым зонам в березитизированных дайках диорит-порфиритов.

Рудные минералы образуются в две постмагматические стадии: предрудную метасомагматическую (пирит первой генерации) и рудную гидротермальную (самородное золото, золотоносный мышьяковистый пирит второй генерации, золотоносный арсениопирит, сфалерит, галенит, халькопирит, блеклые руды). К поисковым признакам рудного золота необходимо относить комплексные геохимические аномалии As с Cu, Pb и Zn.

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования и поисков рудного золота в Урьинском рудном районе и на сопредельных территориях Центрально-Колымского региона.

### Список литературы

1. Аристов В. В. Закономерности размещения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 8. С. 1108–1125. DOI: 10.15372/GiG2019060.
2. Фридовский В. Ю., Горячев Н. А., Крымский Р. Ш., Кудрин М. В., Беляцкий Б. В., Сергеев С. А. Возраст золотого оруденения Яно-Колымского металлогенического пояса, Северо-Восток России: первые данные Re-Os изотопной геохронологии самородного золота // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 4. С. 18–32. URL: [http://itig.as.khb.ru/POG/2021/n\\_4/pdf/Fridovsky.pdf](http://itig.as.khb.ru/POG/2021/n_4/pdf/Fridovsky.pdf) (дата обращения: 03.03.2026). DOI: 10.30911/0207-4028-2021-40-4-18-32.
3. Позднякова Н. Н., Ивасенко Р. Н., Роднов Ю. Н., Попов Ю. В. Типоморфизм самородного золота рудопроявлений Берентальского рудного поля, Магаданская область // Руды и металлы. 2019. № 3. С. 61–70. DOI: 10.24411/0869-5997-2019-10024.
4. Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н. Е., Смильгин С. В., Трубкин Н. В., Алексеев В. Ю. Месторождение золота в гранитоидном штоке Бутарный (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 3. С. 214–237. DOI: 10.7868/S0016777013030064.
5. Бондаренко Н. В., Утенков В. А., Панчерский Н. В., Раков Н. Д. Геолого-генетическая модель формирования Ветренского золоторудного месторождения (Магаданская область) // Отечественная геология. 2020. № 2. С. 17–31. DOI: 10.24411/0869-7175-2020-10008.
6. Хасанов И. М., Михалицына Т. И., Муравьев Л. А., Макарова Д. В. Использование методологии трансформации геофизических полей при изучении рудных систем дайкового типа в зоне влияния Чай-Юрьинского глубинного разлома // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2024. № 2. С. 25–35. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-2-25-35.
7. Хасанов И. М., Михалицына Т. И., Макарова Д. В. Геолого-геофизические критерии прогнозирования разноранговых золоторудных площадей в пределах Центрально-Колымского региона (на примере Чай-Юрьинского рудного узла Берелехского рудного района, Северо-Восток России) // Отечественная геология. 2025. № 6. С. 55–67. DOI: 10.47765/0869-7175-2025-10023.
8. Чепурнов И. А., Грановская Н. В. Особенности магматического контроля золотого оруденения Чай-Урьинского месторождения (Магаданская область) // Новое в познании процессов рудообразования: материалы Четырнадцатой Российской молодежной научно-практической Школы (г. Москва, 17–21 ноября 2025 г.). М.: Издательство Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 2025. С. 230–234. EDN: VINHOW.
9. Горячев Н. А. Дайки и золотое оруденение: генетическая или парагенетическая ассоциация? // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2005. № 1. С. 36–43. EDN: KNWXKB.
10. Волков А. В., Егоров В. Н., Прокофьев В. Ю., Сидоров А. А., Горячев Н. А., Бирюков А. А. Месторождение золота в дайках Яно-Колымского пояса // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 4. С. 311–337. EDN: JJRLBR.
11. Михалицына Т. И., Фомина М. И. Петрографический и минералогический составы пород и руд Урьинского рудного поля (Берелехский рудный район, Северо-Восток России) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2025. № 1. С. 23–42. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-23-42.
12. Соцкая О. Т., Семьшев Ф. И., Малиновский М. А., Альшевский А. В., Ливач А. Э., Горячев Н. А. Пирит зон сульфидизации терригенных комплексов Яно-Колымского орогенного пояса (Северо-Восток России): генерации, типохимизм, минеральные ассоциации // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2022. № 1. С. 14–30. URL: [http://vestnik.north-east.ru/2022/n1/ft\\_Sotskaya.pdf](http://vestnik.north-east.ru/2022/n1/ft_Sotskaya.pdf) (дата обращения: 04.03.2026). DOI: 10.34078/1814-0998-2022-1-14-30.
13. Сидорова Н. В., Аристов В. В., Григорьева А. В., Сидоров А. А. «Невидимое» золото в пирите и арсениопирите месторождения Павлик (Северо-Восток России) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 495. № 1. С. 26–31. DOI: 10.31857/S2686739720110134.
14. Меретуков М. А. Природные частицы нанозолота в мышьяковистом пирите // Цветные металлы. 2011. № 3. С. 4–7. URL: <https://www.rudmet.ru/journal/480/article/4543/> (дата обращения: 03.03.2026). EDN: NFAQDH.
15. Нигай Е. В. Рудные формации и минералого-геохимические особенности месторождений благородных металлов Дальневосточного региона России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 6. С. 245–255. EDN: LACFPL.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Financing:** The research was performed without external funding.