



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>
УДК 552.12.550.04.08



МИНЕРАЛОГООГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Cu-U-Au-ПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ КОН РА ПРОВИНЦИИ КОНТУМ, ВЬЕТНАМ

М.Ф. ДО^{1,2,*}, П.А. ИГНАТОВ¹, Т.Х. ФАН¹, З.Х. НГУЕН¹, Д. ЧАН²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² Геофизическое отделение Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама
1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой 100000, Вьетнам

АННОТАЦИЯ

Введение. В метаморфических породах Центрального Вьетнама в зонах их контакта с триасовыми интрузиями гранитов обнаружено комплексное Au-Cu-U-оруденение. Оно локализовано в тектонических брекчиях и катаклазитах, затронувших гранитоиды триаса и метаскарновые породы докембрия. Наибольшая дифференциация отмечается для тектонически нарушенных гранитов комплекса Хайван и метасоматически переработанных зон контактов этого комплекса с метакarbonатными и метакальтрамафическими породами комплекса Хамдык.

Цель — определение минерального и элементного состава комплексных проявлений Cu, U и Au в протерозойских породах провинции Контум Центрального Вьетнама.

Материалы и методы. Работа основана на данных, собранных во время работы в полевых условиях, аналитических лабораторных исследований, собранных авторами в период 2016—2019 гг. Диагностика минерального состава руд выполнена по 60 аншлифам. Химический состав руд определен по 214 пробам методами ICP MS и по 374 пробам атомной адсорбции во Вьетнамском центре геологического и экспериментального анализа, г. Ханой. Геохимические связи компонентов руд установлены методом многомерных статистических корреляций.

Результаты. Диагностирован минеральный состав, включающий пирротин, пирит, халькопирит, молибденит, магнетит, мартит, гематит, кубанит, марказит, золото, ксенотим, сфалерит, уранинит, халькозин, ковеллин, гетит, малахит и лимонит. Петрографический и петрохимический состав, геологическое положение метаморфических образований комплекса Хамдык и данные по изотопному возрасту позволяют считать их неопротерозойско-кембрийскими образованиями, испытавшими метаморфизм в ордовике.

Заключение. Намечена схема последовательности минералообразования. Результаты ICP MS первичных руд показали, что помимо Cu имеются концентрации Co, Mo, U, Au, Zn, Ni, V, Y, La и As. Установлена положительная корреляция между Cu, U и Au. Предложена модель гидротермального формирования руд.

Ключевые слова: Cu, U, Au, гидротермальная минерализация, корреляция, последовательность минералообразования, Контум

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: До М.Ф., Игнатов П.А., Фан Т.Х., Нгуен З.Х., Чан Д. Минералого-геохимические характеристики Cu-U-Au-проявлений в районе Кон Ра провинции Контум, Вьетнам. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):73—85.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>

Статья поступила в редакцию 18.03.2020

Принята к публикации 08.06.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

MINERAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS Cu-U-Au-MANIFESTATIONS IN THE KON RA REGION OF THE KON TUM PROVINCE, VIETNAM

MINH PHUONG DO^{1,2,*}, PETR A. IGNATOV¹, THI HONG PHAN¹, DUY HUNG NGUYEN¹, DUAN TRAN²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia*

² *Geophysical Division, General Department of Geology and Minerals of Vietnam
1, Chien Thang street, Van Quan, Ha Dong, Hanoi 100000, Vietnam*

ABSTRACT

Background. Complex Au-Cu-U mineralization is found in the metamorphic rocks of central Vietnam in the zones of their contact with Triassic granite intrusions. It is localized in tectonic breccias and cataclasites, which affected Triassic granitoids and Precambrian metaskarn rocks. The greatest differentiation is observed for tectonically disturbed granites of the Hai Van complex and the metasomatically reworked zones of contacts of this complex with metacarbonate and metaultramafic rocks of the Kham Duc complex.

Aim. To determine the mineral and elemental composition of complex occurrences of Cu, U and Au in Proterozoic rocks of the Kon Tum province of central Vietnam.

Materials and methods. The work was based on the authors' data obtained during fieldwork and analytical laboratory studies in the 2016–2019 period. The diagnostics of ore mineral composition was carried out using 60 polished sections. The chemical composition of ores was determined for 214 samples by ICP MS and for 374 samples by atomic absorption spectrometry at the Vietnamese Centre for Geological and Experimental Analysis in the city of Hanoi. The geochemical relationships of ore components were established by the method of multivariate statistical correlations.

Results. The mineral composition includes pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, molybdenite, magnetite, martite, hematite, cubanite, marcasite, gold, xenotime, sphalerite, uraninite, chalcocite, covellite, goethite, malachite and limonite. According to the petrographic and petrochemical composition, the geological position and the data on isotopic age, the metamorphic formations of the Kham Duc complex can be considered as Neoproterozoic-Cambrian formations having experienced metamorphism in the Ordovician.

Conclusion. A scheme of the sequence of mineral formation was outlined. ICP MS results of primary ores showed that, in addition to Cu, the formations under study contain concentrations of Co, Mo, U, Au, Zn, Ni, V, Y, La, and As. A positive correlation was found between Cu, U and Au. A model of hydrothermal ore formation was proposed.

Keywords: Cu, U, Au, hydrothermal mineralization, correlation, sequence of mineral formation, Kon Tum

Conflict of interest: the authors declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Do Minh Phuong, Ignatov P.A., Phan Thi Hong, Nguyen Duy Hung, Tran Duan. Mineral-geochemical characteristics Cu-U-Au-manifestations in the Kon Ra region of the Kon Tum province, Vietnam. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):73–85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>

Manuscript received 18 March 2020

Accepted 08 June 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Cu-U-Au-минерализация Кон Ра находится в провинции Контум в Центральном Вьетнаме. Она недавно обнаружена на поверхности, вскрыта мелкими скважинами и локализована в протерозойских метаморфических породах [2, 5, 8]. Целью работы является изучение геологической позиции рудопроявлений, минералогических и геохимических характеристик руд, что важно для определения рудно-формационного типа объекта и оценки перспектив района.

Фактические данные и методы исследования

Работа основана на данных, собранных во время работы в полевых условиях, аналитических лабораторных исследованиях, собранных авторами в период 2016—2019 гг. Диагностика минерального состава руд выполнена по 60 аншлифам. Химический состав руд определен по 214 пробам методами ICP MS и по 374 пробам атомной адсорбции во Вьетнамском центре геологического и экспериментального анализа г. Ханой. Геохимические связи компонентов руд установлены методом многомерных статистических корреляций.

Геологическое строение района Кон Ра

В районе Кон Ра распространены протерозойские метаморфические породы комплекса Хамдык (PR-Є kđ), кембрийские базальтоиды комплекса Кумонг (bЄcm) и триасовые граниты комплекса Хайван (γT_{1-2} hv). Известны жильные проявления Cu, U и Au минерализации [5, 7—10].

Породы комплекса Хамдык неопротерозоя-кембрия слагают большие массивы и появляются в виде небольших реликтов в раннетриасовых гранитоидах комплекса Хайван (рис. 1, 2). В комплексе Хамдык выделяются 9 групп: метаультрамафический (uPRkđ); метагаббро (grPRkđ); амфиболиты (aPRkđ); метаплагиограниты (pPRkđ); метакарбонатные породы и метаскарны (caPRkđ); амфиболовые гнейсы (gaPRkđ); антофиллит-кордиеритовые породы (acPRkđ); биотитовые гнейсы (gbPRkđ); кристаллические сланцы (f PRkđ) [3—5, 8].

Породы комплекса Хамдык распространены по всей исследуемой территории. Они интродуцированы кембрийскими диабазами комплекса Кумонг (bЄcm), триасовыми гранитоидами комплекса Хайван (γT_{1-2} hv), 235 млн лет, и юрскими риолитовыми и порфирами (образец KR.LK2/33), датированный U-Pb методом ($163,981 \pm 1,9$ млн лет) [6, 8]. Изотопный возраст циркона из амфиболового гнейса (образец KR.880) по U-Pb методу оказался 848 ± 16 млн лет с ордовикским возрастом метаморфизма $458,5 \pm 8,8$ млн лет [6, 8].

Петрографический и петрохимический состав, геологическое положение метаморфических образований комплекса Хамдык и данные по изотопному возрасту позволяют считать их мезопротерозойско-кембрийскими образованиями, испытавшими метаморфизм в ордовике.

Породы триасового комплекса Хайван (γT_{1-2} hv) интродуцируют и обрамляют метаморфические породы комплекса Хамдык (PR-Єkđ). На площади, включающей рудопроявления Кон Ра, породы комплекса Хайван обнажаются небольшими блоками и вскрыты скважинами до глубины 300 м. Они пересекают зону дробления и катаклаза, которая находится в протерозойских метаморфических породах комплекса Хамдык. Местами граниты комплекса также интенсивно подроблены, отмечается хлоритизация.

Комплекс Хайван пересекается дайками базальтов комплекса Кумонг (bЄcm); граниты второй фазы пересекают ранние граниты в блоке Дакне.

По U-Pb методу по циркону из двуслюдяных среднезернистых гранитов по образцам, отобранным с площади рудопроявлений Кон Ра KR.719 из обнажения и KR.LK4/59 керна, взятого с глубины 204—205 м, определен изотопный возраст соответственно $253,1 \pm 2,9$ и $235 \pm 3,1$ млн лет.

Данные по составу пород, изотопному возрасту и геологической позиции комплекса Хайван относят его к раннему-среднему триасу.

Медная минерализация в большинстве случаев встречается в зонах катаклаза, затрагивающих диопсидовые мраморы, кварц-диопсидовые породы, диопсидовые скарны и кальцифиры, которые отнесены к метакарбонатным и метаскарновым образованиям. Они встречаются в тремолитовых и кристаллических сланцах комплекса Хамдык.

Золото-медная минерализация локализована в тектонических брекчиях, которые осложнены перпендикулярными кварцевыми жилами. Она представлена азуритом и малахитом.

Разности метаморфических пород комплекса Хамдык и гранитоидов различных фаз комплекса Хайван заметно отличаются по радиогеохимическим параметрам (табл. 1).

Наибольшая дифференциация отмечается для тектонически нарушенных гранитов комплекса Хайван и метасоматически переработанных зон контактов этого комплекса с метакарбонатными и метаультрамафическими породами комплекса Хамдык. В них мощность экспозиционной дозы радиоактивности колеблется от низких фоновых значений (40—59 мкР/час) до 80—4166 мкР/час. Здесь в катаклазах имеют место рудные концентрации урана с U/Th отношениями, близкими к единице (табл. 5).

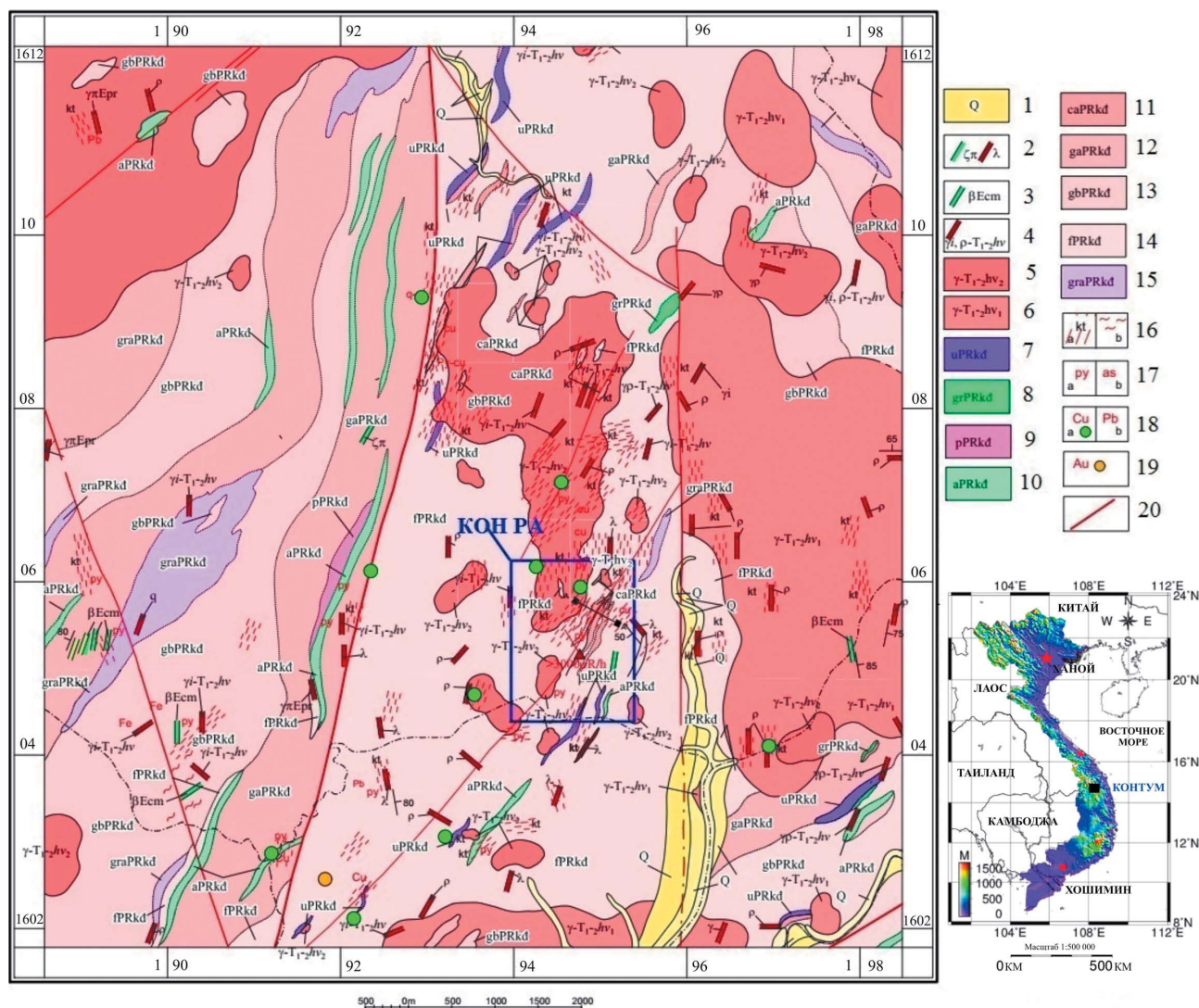


Рис. 1. Геологическая карта района Кон Ра масштаба 1:50.000 (по Чан Д, 2019). 1 — голоцен-плейстоцен (Q): речные отложения; 2 — гидротермальные жилы разного состава; 3 — кембрийские диабазы комплекса Кумонг (bEcm); 4—6 — комплекс Хайван: 4 — гранит-аплиты и пегматиты ранней фазы ($\gamma\text{-pT}_{1-2}\text{hv}$); 5 — биотитовые и двуслюдяные граниты второй фазы ($\gamma\text{T}_{1-2}\text{hv}_2$); 6 — биотитовые граниты первой фазы ($\gamma\text{T}_{1-2}\text{hv}_1$); 7—15 — протерозойский комплекс Хамдык (PR-E kd): 7 — метаультрамафиты (uPRkd): дуниты, перидотиты, пироксениты; 8 — метагаббро (grPRkd); 9 — амфиболиты (aPRkd); 10 — метаплагиограниты — плагиогранитогнейсы, гранодиоритогнейсы и диоритогнейсы (pPRkd); 11 — метакарбонатные и метаскарновые породы (caPRkd): мраморы, оливиновые и диопсидовые кальцифиты, диопсидиты, диопсидовые гнейсы, сланцевые кварц-диопсидовые породы, пироксеновые скарны; 12 — амфибол-гнейсовая ассоциация (gaPRkd): амфиболовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые и пироксеновые гнейсы; 13 — антофиллит-кордиеритовые породы (acPRkd); 14 — биотитовые гнейсы, биотит-плагиогнейсы, биотит-гранит-плагиогнейсы (gbPRkd); 15 — кварцево-слюдяные, кварцевые, мусковитовые и биотитовые сланцы, слюдисто-гранат-силлиманит-андалузит-кордиеритовые породы (fPRkd); 16 — зоны дробления (kt); 17 — рудная минерализация: a — пирит, b — арсенопирит; 18 — рудопроявления: a — Cu, b — Pb; 19 — рудопроявления: Au; 20 — разломы

Fig 1. Geological map of the Kon Ra area at a scale of 1: 50.000 (according to Tran D, 2019). 1 — Holocene-Pleistocene (Q): river sediments; 2 — hydrothermal veins of different composition; 3 — Cambrian diabbases of the Kumong complex (bEcm); 4—6 — Haivan complex: 4 — early phase granite-aplites and pegmatites ($\gamma\text{-pT}_{1-2}\text{hv}$); 5 — biotite and two-mica granites of the second phase ($\gamma\text{T}_{1-2}\text{hv}_2$); 6 — biotite granites of the first phase ($\gamma\text{T}_{1-2}\text{hv}_1$); 7—15 — Proterozoic complex Khamduc (PR-E kd): 7 — metaultramaphites (uPRkd): dunites, peridotites, pyroxenites; 8 — metagabbro (grPRkd); 9 — amphibolites (aPRkd); 10 — metaplagiograni-tes — plagiogranite gneisses, granodiorite

gneisses and diorite gneisses (pPRkd); 11 — metacarbonate and metaskarn rocks (caPRkd): marbles, olivine and diopside calciphyres, diopsideites, diopside gneisses, shale quartz-diopside rocks, pyroxene skarns; 12 — amphibole-gneiss association (gaPRkd): amphibole, amphibole-biotite, amphibole-pyroxene and pyroxene gneisses; 13 — anthophyllite-cordierite rocks (acPRkd); 14 — biotite gneisses, biotite-plagiogneisses, biotite-granite-plagiogneisses (gbPRkd); 15 — quartz-mica, quartz, muscovite and biotite schists, mica-garnet-sillimanite-andalusite-cordierite rocks (fPRkd); 16 — crushing zones (kt); 17 — ore mineralization: a — pyrite, b — arsenopyrite; 18 — ore occurrences: a — Cu, b — Pb; 19 — ore occurrence: Au; 20 — faults

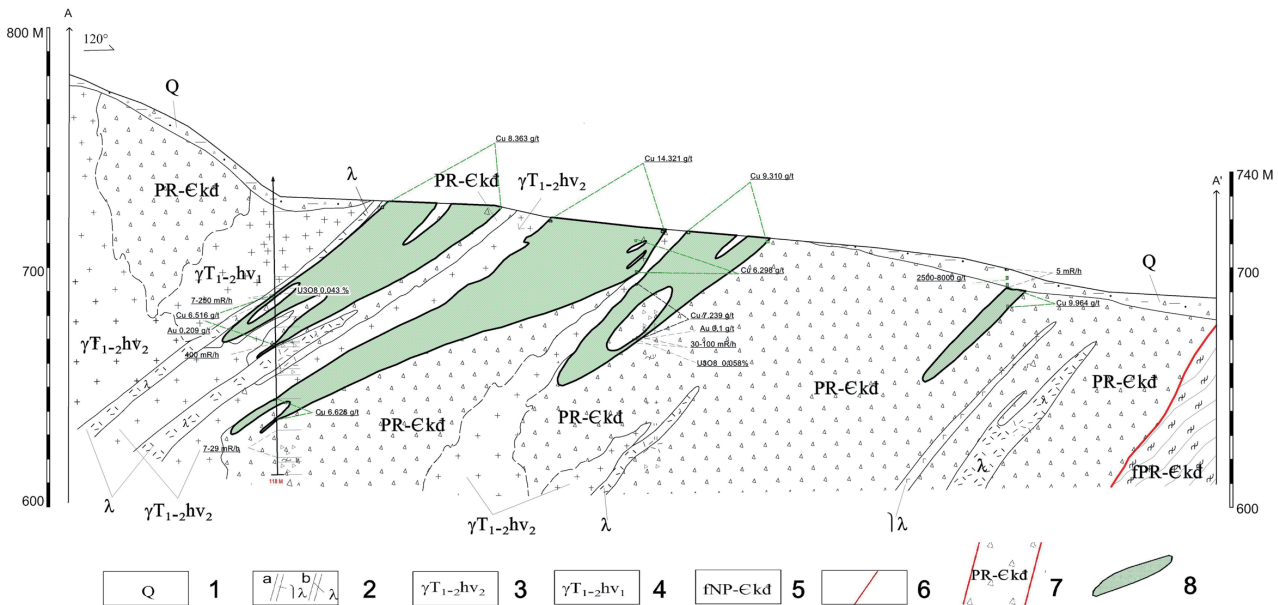


Рис. 2. Геологический разрез по линии А—А'. Масштаб 1:1000 (по Чан Д., 2019). 1 — голоцен-плейстоцен (Q); 2 — а — жилы минетт, b — порфировый риолит; 3—4 — комплекс Хайван: 3 — биотитовые и двуслюдяные граниты второй фазы ($\gamma T_{1-2}hv_2$); 4 — биотитовые граниты первой фазы ($\gamma T_{1-2}hv_1$); 5 — кристаллические сланцы (fPRkd); 6 — разломы; 7 — зоны дробления, содержащие медные, золотые и урановые руды: диопсид, мрамор, диопсидовый мрамор, мраморный диопсид-тремолит, кварцевая плита — диопсид, тремолитовый сланец, кварцевый сланец — двуслюдяной кварцевый сланец — полевошпатовые двуслюдяные сланцы, гнейс, биотит, амфиболит; 8 — рудоносные зоны

Fig. 2. Geological section along the line A—A'. Scale 1:1000 (after Tran D., 2019). 1 — Holocene-Pleistocene (Q); 2 — a — minette veins, b — porphyry rhyolite; 3—4 complex Haivan: 3 — biotite and two-mica granites of the second phase ($\gamma T_{1-2}hv_2$); 4 — biotite granites of the first phase ($\gamma T_{1-2}hv_1$); 5 — crystalline schists (fPRkd); 6 — faults; 7 — crushing zones containing copper, gold and uranium ores: diopside, marble, diopside marble, marble diopside-tremolite, quartz slab — diopside, tremolite schist, quartz schist — two-mica quartz schist — feldspar two-mica amphibolit, biotite, gneiss; 8 — ore-bearing zones

Минеральный состав руд

В результате изучения 60 рудных аншлифов выявлены распространенные рудные минералы халькопирит, пирит и пирротин с частотой встречаемости 65—83% и содержаниями от долей процента до 82% (табл. 2). Меньше распространены марказит, ковеллин и молибденит, которые встречаются с частотой от 12 до 23% и с содержаниями от очень малых до 2—10%. Не часто встречаются магнетит, арсенопирит, халькозин, гематит, гетит и лимонит с частотой < 7%, и содержаниями от малого до 1—60%; редким рудным минералом является уранинит.

Таким образом, в рудах преобладают пирит, пирротин и халькопирит, в подчиненном количестве

присутствуют молибденит, магнетит, мартит, гематит, кубанит, марказит, встречаются борнит, сфалерит, ксенотим, золото, уранинит и экзогенные: халькозин, ковеллин, гетит, малахит и лимонит.

Все рудные минералы диагностированы по оптическим свойствам и подтверждены рентгеноструктурными анализами. Особенности некоторых рудных минералов приведены ниже.

Халькопирит широко распространен (в среднем 10—15%), размеры аллотриморфных зерен составляют в среднем от 0,5×1 мм. Встречается в виде вкраплений отдельных частиц, скоплений мелких частиц и коротких прерывистых прожилков, неравномерно распределенных

Таблица 1. Радиогеохимические параметры пород комплексов Хамдык и Хайван
Table 1. Radiogeochemical parameters of rocks from the Khamduc and Haivan complexes

Комплексы	Породы		Радиогеохимические параметры (мкр/ч)			
			мин	макс	средний	точки замеров
Хайван	Дайки	Гранит-аплит	37	62	52,8	6
		Пегматит	32	65	47,6	5
	Второй фазы	Гранит, двуслюдяной гранит	30	57	42,4	310
Хамдык	Метаультрамафиты	Пироксенит	17	25	22	21
	Амфиболиты комплекса	Амфиболит	17	21	19,5	4
	Метаскарны	Мрамор, диопсильовый мрамор	6	21	15,2	14
	Амфибол-гнейсо- вый комплекс	Амфиболовый гнейс			17	1
	Биотитовые гнейсы	Биотитовый гнейс	31	44	33,7	15
	Кристаллические сланцы	Кварц-двуслюдяной, кварц-серицитовый сланец	23	51	38	308
		Двуслюдяной гнейс	30	50	40	123
		Кварцит	14	27	19	7

Таблица 2. Содержания и частота встречаемости рудных минералов, диагностированных в 60 аншлифах
Table 2. Content and frequency of occurrence of ore minerals diagnosed in 60 polished sections

Минералы	Содержания (%)		Количество наблюдений	Частота встречи (%)
	Низкие	Большие		
Халькопирит	Очень мало	18	50	83
Пирит	Мало	28	41	68
Пирротин	Мало	82	39	65
Марказит	Мало	10	14	23
Ковеллин	Очень мало	8	7	12
Молибденит	Мало	6	7	12
Арсенопирит	Очень мало		1	2
Магнетит	12	60	2	3
Уранинит	Очень мало		2	3
Гематит	Мало	18	1	2
Гётит	Очень мало		1	2
Лимонит	Мало	2	4	7
Халькозин	-	1	1	2

в нерудных минералах (рис. 3И, 3К). Образует парагенезис с пиритом и пирротинном (рис. 3Л). Халькопирит представлен двумя генерациями: халькопирит I в виде неправильных зерен или мелких скоплений неравномерно распределен в нерудных минералах или прожилках в них и магнетите (рис. 3А); халькопирит II в виде колломорфных выделений выполняет прожилки в других минералах (рис. 3Б). В каймах некоторых зерен халькопирит замещается халькозином и ковеллином (рис. 3В).

Пирит в виде неправильных и гипидиоморфных выделений и преобладающими размерами 1,6—1,8 мм равномерно распределен, концентрируется в гнездах, окружающих нерудные минералы, или слагает в них прожилки в сростании с халькопиритом (рис. 3Л, Д, Е).

Пирротин в зернах неправильной формы с преобладающими размерами 0,1×2,5 мм и наибольшим 2,4×4,4 мм встречается в виде вкраплений и пылевидных выделений в нерудных минералах.

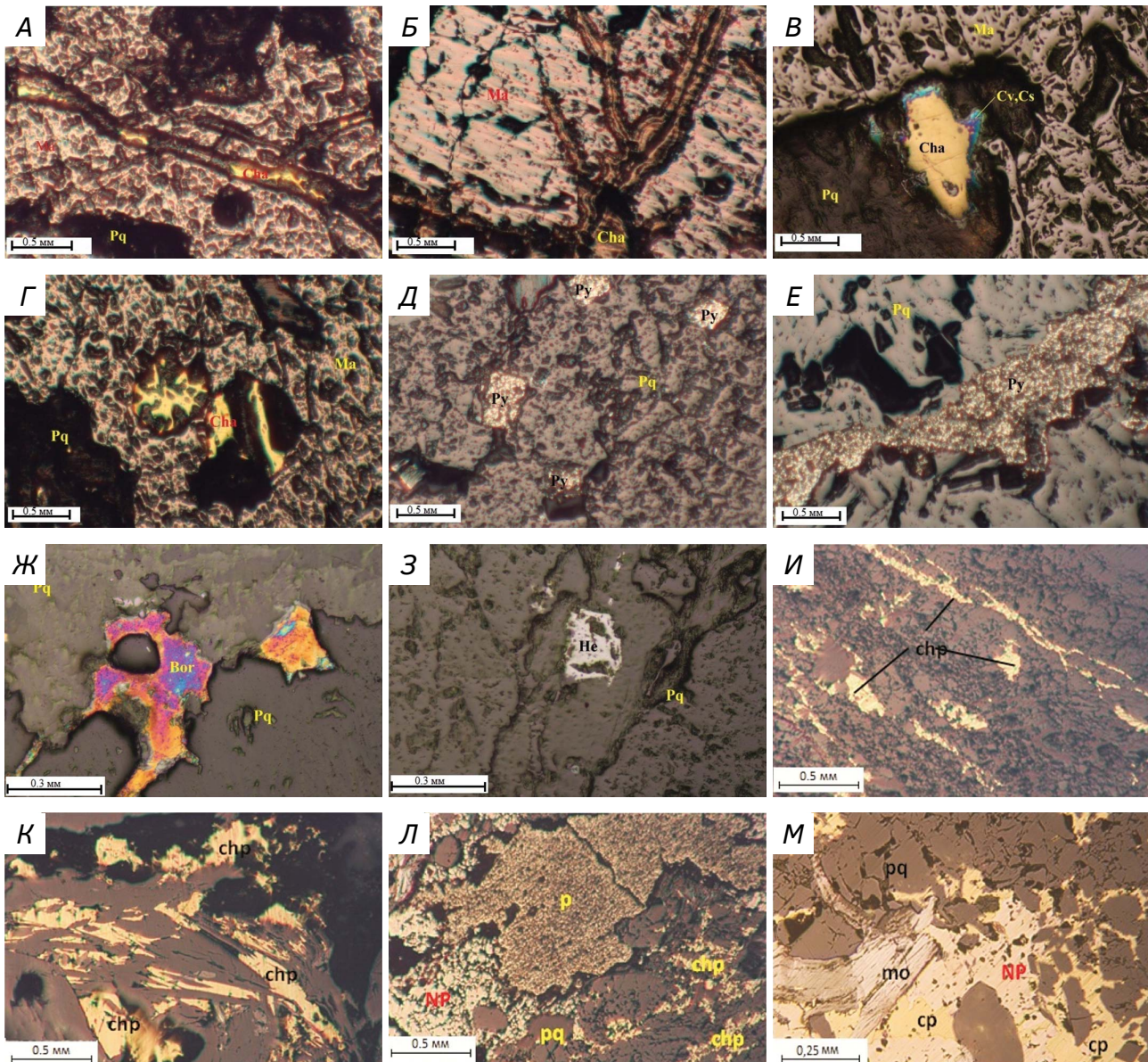


Рис. 3. Структуры и микротекстуры руд. 3.А — халькопирит (Cha) заполняет трещины магнетита (Ma), образец KR.9/1; 3.Б — коллоидальный халькопирит (Cha) распределяется по трещинам магнетита (Ma), образец KR.VL3/1; 3.В — халькопирит (Cha) превращается в ковеллит (Cv) на его гранях и в халькоцит (Cs), образец KR.9/1; 3.Г — халькопирит (Cha) заполняет трещины магнетита (Ma), образец KR.9/1; 3.Д — автоморфный пирит (Py) вкрапляется в нерудном минерале (Pq), образец KR.2; 3.Е — аллотриоморфный пирит вида жилы (Py) прорезает нерудный минерал (Pq), образец KR.VL 1; 3.Ж — аллотриоморфный борнит (Bo) в нерудном минерале (Pq), образец KR.VL4/1; 3.З — аллотриоморфный гематит (He) вкрапляется в нерудном минерале (Pq), образец KR.2; 3.И — халькопирит (chr) аллотриоморфный, образующийся полосами и жилами в нерудных минералах (pq) раздробленной зоны, образец KR.LK1/35; 3.К — халькопирит (chr) аллотриоморфный, образующийся полосами и жилами в нерудных минералах (pq) раздробленной зоны, образец KR.LK1/39; 3.Л — пирит (py), симбиотичный с пирротинном (NP) и с халькопиритом (chr), вкрапляющийся в нерудных минералах раздробленной зоны (pq), образец KR.LK1/35; 3.М — молибденит (mo) в чешуйчатой форме, симбиотичный с халькопиритом (chr) и с пирротинном (NP), вкрапляющийся в нерудных минералах (pq), образец KR.LK1/35 [5]

Fig. 3. Structures and microtextures of ores. 3.A — chalcopyrite (Cha) fills in magnetite cracks (Ma), sample KR.9/1; 3.B — colloidal chalcopyrite (Cha) is distributed along magnetite (Ma) fractures, sample KR.VL3/1; 3.B — chalcopyrite (Cha) is converted to covellite (Cv) on the facets and to chalcocite (Cs) within the nonmetallic mineral, sample KR.9/1; 3.Г — chalcopyrite (Cha) fills in magnetite cracks (Ma), sample KR.9/1; 3.Д — automorphic pyrite (Py) interspersed

with nonmetallic mineral (Pq), sample KR.2; 3.E — vein-type allotriomorphic pyrite (Py) cuts through the non-metallic mineral (Pq), sample KR.VL1; 3.Ж — allotriomorphic bornite (Bor) in nonmetallic mineral (Pq), sample KR.VL4/1; Fig. 3.3 — allotriomorphic Hematite (He) interspersed with non-metallic mineral (Pq), sample KR.2; 3.И — chalcopyrite (chp) allotriomorphic, formed by stripes and veins in non-metallic minerals (pq) of the fractured zone, sample KR.LK1/35; 3.К — chalcopyrite (chp) allotriomorphic, formed by stripes and veins in non-metallic minerals (pq) of the fractured zone, sample KR.LK1/39; 3.Л — pyrite (py), symbiotic with pyrrhotite (NP) and chalcopyrite (chp), impregnated in nonmetallic minerals of the fractured zone (pq), sample KR.LK1/35; 3.М — molybdenite (mo) in flaky form, symbiotic with chalcopyrite (chp) and pyrrhotite (NP), impregnated in non-metallic minerals (pq), sample KR.LK1/35 [5]

Минералы	Стадии гидротермально-метасоматического этапа		Экзогенный этап
	высокотемпературная	среднетемпературная	
Магнетит	—————		
Пирротин		—————	
Гематит	—————		
Халькопирит	—————	—————	
Пирит	—————	—————	
Борнит		—————	
Молибденит			- - - - -
Марказит			- - - - -
Халькозин			- - - - -
Ковеллин			- - - - -
Метасоматические изменения	хлоритизация, серицитизация, оталькование, серпентинизация		
Концентрации	Fe, Cu, O, S	Cu, Fe, S	Cu, S
Структуры руд	автоморфная, панидиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая	автоаллотриоморфная структура, клеевой	аллотриоморфнозернистая
Текстуры руд	жильная, прожилковая, гнездовидная, вкрапленная	вкрапленная, гнездовидная	
Парагенетические ассоциации	магнетит + халькопирит I + гематит + пирит	пирротин + халькопирит II + пирит + борнит	марказит + халькозин + ковеллин + молибденит

————— главные ————— второстепенные - - - - - редкие

Рис. 4. Схема последовательности формирования руд
Fig. 4. Diagram of the sequence of ore formation

Он также слагает блоки в парагенезисе с пиритом и халькопиритом (рис. 3Л, М).

Магнетит наиболее распространен в рудах (до 83%). Часто слагает зерна средними размерами 1,8×3,2 мм. Формы выделений — гнезда, сгустки, окружающие нерудные минералы. Иногда замещается халькопиритом I (рис. 3Г). В одном случае отмечена мартитизация по краям и в трещине магнетита.

Гематит мало распространен в виде неправильных зерен менее 0,1 мм и пылевидных выделений в нерудных минералах (рис. 3З).

Молибденит — в мелких чешуйчатых зернах с максимумом в 1,5×3 мм; редко встречается в виде самостоятельных вкраплений в нерудных минералах в катаклазитах (рис. 3М). Предполагается его парагенезис с пиритом и халькопиритом.

Борнит очень редок и встречен в неправильных, преимущественно мелких (0,4×0,3 мм) выделениях в нерудных минералах (рис. 3Ж) и в тонких каймах вокруг магнетита и халькопирита.

Ковеллин и халькозин в очень низких содержаниях образуют тонкие каемки размером менее 0,1 мм вокруг халькопирита I (рис. 3В).

Таблица 3. Содержание элементов в Cu-U-Au-рудопоявлении Кон Ра (ICP MS, г/т)
Table 3. Element contents in Cu-U-Au ore occurrence Kon Ra (ICP MS, g/t)

Элемент	Число проб	Содержание (г/т)			Кларк концентрации (кларки по А.П. Виноградову, 1962) [1]	Коэффициент вариации V, %
		мин	макс	среднее		
Cu	214	275	36362	7373,96	47	88,32
Pb	168	5	1558	38,21	16	339,77
Zn	209	5	1077	70,25	83	129,90
Ni	199	5	403	31,69	58	127,68
Sr	209	5	570	79,00	340	108,72
V	213	5	1437,8	89,80	90	157,30
Cr	162	5	950	35,86	83	238,95
Ce	201	5	1352	47,76	70	214,65
La	160	5	981	30,56	29	265,65
Y	189	5	407	30,57	29	129,45
Li	198	5	100	18,75	32	87,49
Nb	123	5	126	22,59	20	101,69
Ga	122	10	97	23,28	19	57,87
Sc	75	5	59	12,19	10	78,10
B	206	10	298	47,82	12	122,78
Be	214	5	37	7,94	3,8	79,42
As	40	20	1377	79,60	1,7	273,01
Mo	183	5	5247	135,03	1,1	407,28

Схема последовательности рудообразования

Процесс минерализации включал гидротермально-метасоматический, состоящий из двух стадий, и экзогенный этапы (рис. 4), что обосновано по смене текстур и структур руд и минеральных парагенезисов.

В гидротермально-метасоматический этап, вероятно, при высоких температурах формировались магнетит, гематит и халькопирит I, при средней температуре — халькопирит II, пирит и борнит. В этот время образовались метасоматические ореолы серпентина, талька, серицита и хлорита.

В экзогенном этапе халькопирит замещался ковеллином и халькозином.

Распределение основных и сопутствующих элементов в рудах

Результаты ICP MS 214 анализов проб сульфидных руд показали, что помимо основного элемента (Cu) в руде концентрируются As, B, Be, Ce, Cr, Cu, Ga, La, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y, Zn (табл. 3).

Из таблицы 3 видно, что в рудах концентрируются халькофильные (Pb, Zn, Ni, Mo, As), сидеро-

фильные (V, Cr, B) и литофильные (Li, Sr, Be, Ce, La, Y, Nb) элементы, включая редкие и рассеянные (Sc, Ga). При этом кларки концентраций достигают одного-двух порядков при заметных вариациях содержаний. Содержание меди имеет неравномерное распределение в диапазоне от 275 до 36 362 г/т, в среднем 7373,96 г/т, коэффициент вариации 88,32%.

Выполнен корреляционный анализ полученных данных (табл. 6), который показал положительные связи пар элементов: As-B, As-Ga, As-Nb, As-V, B-V, Be-Ga, Be-Li, Be-Pb, Be-Sc, Be-Y, Ce-La, Ce-Ni, Ce-Sr, Ce-Y, Cr-Li, Cr-Nb, Cu-La, Cu-Zn, Cu-Co, Cu-Ni, Ga-Li, Ga-Nb, Ga-Pb, Ga-V, Ga-Y, La-Ni, La-Y, Li-Nb, Li-Ni, Li-Sr, Li-Y, Mo-Pb, Mo-Y, Nb-Sc, Nb-Sr, Nb-V, Nb-Y, Ni-Y, Pb-Sc, Pb-Zn, Pb-Y, Sc-V, Sc-Y, Sr-Zn, V-Y, Au-Ag, Ag-Cu, Zn-Co, Zn-Ni, Co-Ni.

Наиболее тесные связи с коэффициентом корреляции выше 0,5 выявлены между Ce-La (0,99), As-V (0,96), As-B (0,93), As-Ga (0,86), Ga-V (0,71), Pb-Sc (0,69), Pb-Y (0,67), La-Ni (0,57), Ce-Ni (0,56), Nb-V (0,52). Слабая положительная корреляция с коэффициентом корреляции 0,31 установлена между медью и цинком.

Таблица 4. Содержание элементов (г/т) в медной руде Кон Ра по данным атомной абсорбции
Table 4. Element content (g/t) in Copper ore Kon Ra according to atomic absorption data

Элемент	Число проб	Содержания (г/т)			Кларк концентрации	Коэффициент вариации V, %
		мин	макс	среднее	(Кларк по А.П. Виноградову, 1962) [1]	
Au	374	0,01	1,05	0,16	0,0043	75,80
Ag	374	0,1	1,69	0,17	0,07	110,03
Cu	374	88	60639	7398,87	47	84,45
Pb	374	10	211	20,97	16	89,44
Zn	374	7	234	35,98	83	105,34
Mo	240	3	2005	42,54	1,1	351,77
Co	257	3	226	37,37	18	106,29
Ni	257	3	179	15,84	58	127,42

Таблица 5. Результаты гамма-спектрометрии 42 образцов руды
Table 5. Results of gamma spectrometry of 42 ore samples

Параметры	U %	U ₃ O ₈ %	Th %	U/Th
Среднее	0,57	0,67	0,06	9,49
Стандартное отклонение	0,87	1,02	0,08	
Минимальное	0,007	0,008	0,001	
Максимальное	4,41	5,20	0,32	
Количество проб	42	42	42	
Коэффициент вариации V%	153,64	153,64	131,46	

Таблица 6. Матрица коэффициентов корреляции между элементами по результатам ICP MS рудопроявления Кон Ра
Table 6. Matrix of correlation coefficients between elements according to ICP MS results of Kon Ra ore occurrence

	As	B	Be	Ce	Cr	Cu	Ga	La	Li	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
As	1																	
B	0.93	1																
Be	0.12	0.04	1															
Ce	-0.05	-0.07	0.07	1														
Cr	-0.1	-0.04	0.01	0.08	1													
Cu	-0.14	-0.18	0.05	0.12	0.03	1												
Ga	0.84	0.17	0.25	0.11	0.14	0.02	1											
La	-0.06	-0.11	0.03	0.99	0.05	0.2	0.08	1										
Li	-0.06	-0.09	0.35	0.17	0.26	-0.11	0.21	0.11	1									
Mo	-0.11	-0.01	0.17	0.01	-0.03	-0.11	-0.22	-0.02	-0.03	1								
Nb	0.68	0.08	0.17	0.06	0.34	-0.2	0.34	0.01	0.31	0.11	1							
Ni	-0.05	0.03	0.03	0.56	0.08	0.2	0.02	0.57	0.24	0.01	0.04	1						
Pb	0	0.1	0.25	0.1	0.01	-0.14	0.26	0.09	-0.01	0.28	0.13	-0.02	1					
Sc	-0.12	0.07	0.3	0.08	0.06	-0.16	0.13	0.09	0.21	-0.02	0.32	0.15	0.69	1				
Sr	-0.16	-0.02	0.18	0.19	0.18	-0.14	0.12	0.15	0.41	-0.07	0.39	0.12	-0.04	-0.03	1			
V	0.96	0.26	0.13	0.07	0.14	0.03	0.71	0.03	0.14	-0.03	0.52	0.14	0.13	0.27	0	1		
Y	-0.04	-0.07	0.29	0.34	0.02	-0.01	0.19	0.3	0.25	0.2	0.44	0.19	0.67	0.21	0.11	0.33	1	
Zn	-0.02	-0.07	0.09	0.1	-0.03	0.31	0.1	0.1	0.07	-0.09	0.1	0.12	-0.08	-0.09	0.22	0.07	0.07	1

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между элементами по результатам атомно-абсорбционных анализов руд рудопроявления Кон Ра

Table 7. Coefficients of correlation between elements according to the results of atomic absorption analyzes of ores of ore occurrence Kon Ra

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Ni
Au	1							
Ag	0,33	1						
Cu	0,15	0,33	1					
Pb	-0,07	-0,02	-0,08	1				
Zn	0,08	0,15	0,28	0,22	1			
Mo	-0,07	0,00	0,03	0,1	-0,07	1		
Co	0,02	0,00	0,4	0,12	0,28	0,16	1	
Ni	0,07	0,00	0,35	0,14	0,33	0,09	0,46	1

Золото распределяется относительно стабильно. Его содержание варьирует от 0,01 до 1,05 г/т, в среднем 0,16 г/т, коэффициент вариации 75,80% (табл. 4).

Анализ корреляционных связей показывает положительную связь золота с серебром (коэффициент корреляции 0,33), серебра с медью (0,33) (табл. 7).

Надо отметить невысокие коэффициенты корреляции Cu-Co (0,40), Co-Ni (0,46) и Cu-Ni (0,35).

Таким образом, в поисках золотых руд прямыми признаками надо считать медь и цинк. Кроме того, могут быть использованы косвенные признаки в виде концентраций Ni, Co, Mo, Sn, As, Ag, Pb, La.

В рудах Кон Ра имеются концентрации урана и тория (табл. 5). Анализ 42 рудных образцов показал, что содержание U колеблется от 0,007 до 4,41%, в среднем 0,57% (коэффициент вариации 153,64%), достигая промышленных концентраций. Содержание Th варьирует от 0,001 до 0,32%, в среднем 0,06% (коэффициент вариации 131,46%). Среднее уран-ториевое отношение составило 9,49.

Имеет место высокая корреляция между Cu и U, следовательно, надо использовать и радиоактивные аномалии урановой специализации для поисков месторождений.

Выводы

1. В метаморфических породах центрального Вьетнама в зонах их контакта с триасовыми интрузиями гранитов обнаружено комплексное Au-Cu-U-оруденение. Оно локализовано в тектонических брекчиях и катаклазитах, затронувших гранитоиды триаса и метаскарновые породы докембрия.

2. Минеральный состав руд включает гидротермальную минерализацию халькопирита, борнита, золота, уранинита. На участке развита зона окисления с халькозином, ковеллином, азуритом, малахитом и лимонитом.

3. Рудная минерализация сопровождается хлоритизацией, серицитизацией, оталькованием, серпентинизацией.

4. В Cu-Au-U-рудах концентрируются рудные и редкие элементы Ni, Co, Mo, Sn, As, Ag, Pb, La, что повышает их промышленную оценку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 535—571.
2. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Дакто (D-48-XII). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 200 000). Ханой, 1998. С. 115.
3. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Кон-Тум (D-48-XVIII). В: Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1:200 000). Ханой, 1998. С. 73.
4. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Манг Ден-Бонг Сон (D-49-XIII, D49-XIV). В: Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1:200 000). Ханой, 1998. С. 92.
5. До М.Ф., Нгуен З.Х. Сборник тезисов докладов I Молодежной конференции ЦНИГРИ. М., 2020. С. 82—85.
6. Нгуен С.Б. Геология и минеральные ресурсы Вьетнама (южная широта 15°20'). Архив геологического отдела. Ханой, 1995. С. 125.
7. Клод Л, Нгуен Ван Вуонг, Малуски А., Фан Чыонг Тхи, Тич Ван Ву. Индозиная тектоника во

- Вьетнаме., Геонауки. 2008. № 340. С. 94—111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071307002969>
8. Чан Д. Отчет об оценке минеральных ресурсов меди в районе Кон Ра. Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. Ханой, 2019. С. 109.
9. Чан Т. Отчет о результатах геологического картирования и разведки полезных ископаемых в группе Кон Тум-Буон Мэ Туат в масштабе 1:200 000. Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. Ханой, 1994. С. 110.
10. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Gondwana Research*. 2014. № 26. С. 144—164.

REFERENCES

1. Vinogradov A.P. Srednee sodержanie khimicheskikh ehlementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gorny porod zemnoj kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust]. *Geochemical*. 1962. No 7. С. 535—571 (In Russian)
2. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of Dac To leaf (D-48-XII). Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 115.
3. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of the Kon Tum leaf (D-48-XVIII). In: Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 73 (In Vietnam).
4. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of the leaf Mang Den-Bong Son (D-49-XIII, D49-XIV). In: Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 92 (In Vietnam).
5. Do M.P., Nguyen D.H. Sbornik tezisev dokladov I Molo-dezhnoy konferentsii TSNIGRI [Collection of abstracts of reports of the I Youth Conference TSNIGRI]. Moscow, 2020. P. 82—85 (In Russian).
6. Nguyen Xuan Bao. Geology and mineral resources of Vietnam (south latitude 15°20'), Archive of the geological department. Hanoi, 1995. P. 125 (In Vietnam).
7. Lepvrier C., Nguyen Van Vuong, Maluski H., Phan Truong Thi, Tich Van Vu. Indosinian tectonics in Vietnam. *Geoscience*. 2008. No 340. P. 94—111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071307002969>
8. Tran Duan. Assessment Report on Copper Mineral Resources in Kon Ra. Foundations of the Vietnam Ministry of Natural Resources and Ecology. Hanoi, 2019. P. 109 (In Vietnam).
9. Tran Tinh. Report on the results of geological mapping and mineral exploration in the Kon Tum-Buon Me Thuat group at a scale of 1: 200,000. Foundations of the Vietnam Ministry of Natural Resources and Ecology. Hanoi, 1994. P. 110 (In Vietnam).
10. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh, The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Gondwana Research*. 2014. No 26. P. 44—164.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

До М.Ф. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Игнатов П.А. — инициатор статьи, внес вклад в разработку концепции работы.

Фан Т.Х. — предоставил материалы для исследований, провел обзор геологической информации

Нгуен З.Х. — внесла вклад в геохимический региональный анализ.

Чан Д. — предоставил материалы для исследований, провел обзор геологической информации.

Minh Phuong Do — made the main contribution to the development of the concept of the article, conducted a granulometric analysis, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Petr A. Ignatov— initiator of the article, contributed to the development of the concept of the article.

Thi Hong Phan— provided materials for research, reviewed geological information.

Duy Hung Nguyen— contributed to geochemical regional analysis.

Duan Tran— provided materials for research, reviewed geological information.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

До Минь Фыонг* — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: dominhphuong.dkt@gmail.com
тел.: +7 (905) 727-96-78
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Игнатов Петр Алексеевич — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-код: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Фан Тхи Хонг — аспирант факультета геологии и геофизики нефти и газа ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: phanthihong@humg.edu.vn
тел.: +7 (903) 719-77-60
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Нгуен Зуи Хынг — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: nguyenduyhung@humg.edu.vn
тел.: +7 (977) 957-29-68
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

Чан Дуан — руководитель группы по геологии 3 Южно-Вьетнамского геологического отделения 1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам
e-mail: tranduandc3@gmail.com
тел.: +84-918928047

Minh Phuong Do* — postgraduate student of the Department of geology of mineral deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: dominhphuong.dkt@gmail.com
tel.: +7 (905) 727-96-78
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Petr A. Ignatov — Prof., Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Department of geology of mineral deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
tel.: +7 (495) 461-37-77
SPIN: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Thi Hong Phan — postgraduate student, Faculty of geology and geophysics of oil and gas, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: phanthihong@humg.edu.vn
tel.: +7 (903) 719-77-60
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Duy Hung Nguyen — postgraduate student of the Department of geology of mineral deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nguyenduyhung@humg.edu.vn
tel.: +7 (977) 957-29-68
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

Duan Tran — team leader for Geology 3, Geological Department of South Vietnam 1, Chien Thang street, Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam
e-mail: tranduandc3@gmail.com
tel.: +84-918928047

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author