

**БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
ПЕРСПЕКТИВНОГО УЧАСТКА РАЙОНА РАХАД, РЕСПУБЛИКА СУДАН****Ю.А. Рыжкова, И.А. Блинов***Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; padushina@mail.ru***PRECIOUS METAL MINERALIZATION OF A PROMISING AREA
OF THE RASHAD REGION, REPUBLIC OF SUDAN****Yu.A. Ryzhkova, I.A. Blinov***South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass,
Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; padushina@mail.ru*

Аннотация. В статье приведены первые данные о проявлениях рудной минерализации вблизи г. Рахад, Республика Судан. В метасоматических породах диагностированы пирротин, пентландит, пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит, гематит, магнетит, англезит, лейкоксен, сульфосоли Ag (фрейбергит, пираргирит), теллуриды Ag и Pb (гессит, алтаит), самородное золото и самородный висмут. Состав золота варьирует от высокосеребристого до высококопного.

Ключевые слова: минералы благородных металлов, золото, теллуриды, Республика Судан.

Abstract. The paper presents the first data on ore mineralization in rocks of the promising area near the town of Rashad, Republic of Sudan. The metasomatic rocks contain pyrrhotite, pentlandite, pyrite, galena, chalcopyrite, sphalerite, arsenopyrite, hematite, magnetite, anglesite, leucoxene, Ag sulfosalts (freibergite, pyrargyrite), Ag and Pb tellurides (hessite and altaite), native gold and bismuth. The fineness of gold varies from low to high.

Key words: precious metal minerals, gold, tellurides, Republic of Sudan.

Введение

Республика Судан известна богатыми запасами золота: еще во времена фараонов эта территория являлась одним из основных мест его добычи в Африке. В 2009 г. в стране произошел всплеск интереса к золоту из-за находки самородка весом 17 кг на востоке страны. Республика Судан является одной из крупнейших африканских стран, расположена в северо-восточной части Африкано-Аравийской платформы (рис. 1) и характеризуется нестабильной политической ситуацией, одной из причин которой является доступ к разработке месторождений золота. Кроме золота промышленное значение в стране имеют месторождения хрома, марганца, гипса, каменной соли и многие другие, но в связи с частыми внутренними конфликтами промышленность развита слабо. В статье рассмо-

трены основные сведения о золотодобыче в Республике Судан и представлены первые данные о рудной и благороднометалльной минерализации перспективных участков на границе штатов Северный и Южный Кордофан вблизи г. Рахад.

Материалы и методы исследований

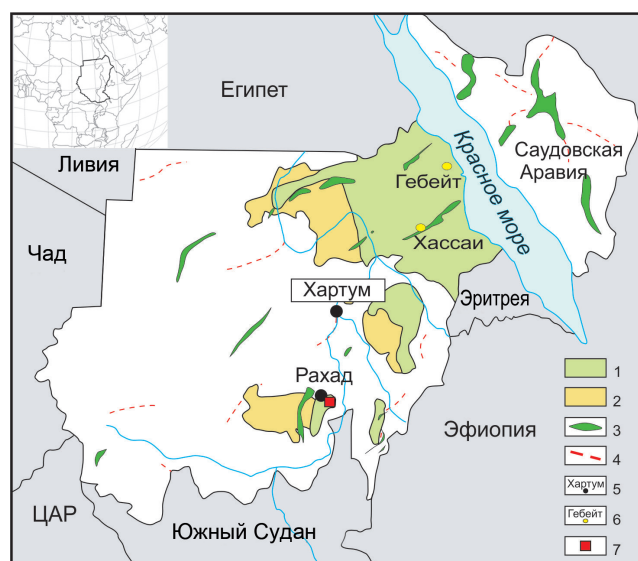
Для изучения автором был отобран каменный материал вблизи г. Рахад. Все исследования проведены в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс). Оптические исследования проводились с помощью поляризационного микроскопа AxioScope A.1 с цифровой приставкой. Для определения химического состава рудных минералов использовался растровый электронный микроскоп Tescan Vega3 SBU с ЭДС Oxford Instruments X-act при ускоряющем напряжении 20 кВ, «жи-

Рис. 1. Схематическая карта Аравийско-Нубийского щита и панафриканских зеленокаменных поясов с положением участка работ по (Johnson, 2017; Abu Fatima, 2019) с упрощениями.

1 – неопротерозойские магматические породы Аравийско-Нубийского щита; 2 – донеопротерозойские породы окраин и прилегающих к ним территорий Аравийско-Нубийского щита; 3 – офиолиты и вулканогенно-осадочные породы; 4 – разломы; 5 – города; 6 – наиболее известные месторождения золота; 7 – участок работ.

Fig. 1. Schematic map of the Arabian-Nubian Shield and Pan-African greenstone belts and the location of the working area, simplified after (Johnson, 2017; Abu Fatima, 2019).

1 – Neoproterozoic igneous rocks of the Arabian-Nubian Shield; 2 – Pre-Neoproterozoic rocks of margins and adjacent territories of the Arabian-Nubian Shield; 3 – ophiolites and volcanosedimentary rocks; 4 – faults; 5 – towns; 6 – most famous gold deposits; 7 – working area.



вом» времени набора спектров 120 с и «мертвом» времени 10–15% (аналитик И.А. Блинов). При подсчете использовались следующие эталоны: чистые металлы – для золота и самородного висмута, пирит (FeS_2) – для пирита и пирротина, галенит (PbS) – для галенита, арсенопирит (FeAsS) – для арсенопирита, эталон состава AgSbS_2 – для пираргирита и анализа линии Ag в гессите, эталон PbTe – для алтаита; при анализе фрейбергита Cu, Fe и S рассчитывались по эталону халькопирита (CuFeS_2), Sb – Sb_2S_3 , As – по эталону арсенопирита (FeAsS).

Краткий геологический обзор и сведения о добыче золота

Основным структурным элементом в регионе является Аравийско-Нубийский щит, который был образован при коллизии Западной и Восточной Гондваны 650–600 млн лет назад и закрытии так называемого Мозамбикского океана. Аравийско-Нубийский щит сформирован Аравийской и Африканской плитами, разделенными кайнозойским рифтовым бассейном Красного моря (Schlüter, 2006; Johnson et al., 2017). Щит имеет размеры 3500 × 1400 км и простирается в субмеридиональном направлении. Он состоит из метаморфизованных вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, в нем также широко развиты батолиты гранитоидов.

По сравнению, например, с Канадским и Австралийским щитами Аравийско-Нубийский щит слабо изучен, однако он является не менее перспективным с позиций металлоносности. Золотое ору-

денение щита связано с разнообразными типами месторождений, включая Cu-Au порфировые, колчеданные, эпитермальные и орогенные, ассоциирующие с интрузиями и сутурными зонами. Большое значение имеют россыпи (Верхозин, 2020). Перспективные регионы с золотым оруденением выявлены на северо-востоке и юго-востоке, а также в центральной части республики.

На востоке страны в пределах складчато-надвигового пояса Арьяб-Накасиб в 1977 г. открыты месторождения вулканогенных колчеданных руд с сопутствующей гипергенной золотой минерализацией (Випфлер, 1998; Столожан, 1999). Золото в них концентрируется в кремнисто-баритовых породах среди госсанитов. К этой провинции относятся месторождения Хассай (рис. 1), Хадал Ауетиб и Одерук. Содержание золота в рудах составляют 7–40 г/т (Столожан, 1999). Орогенное месторождение Гебейт (рис. 1) расположено в районе метавулканических пород комплекса фундамента (серия Нафирдейб) одноименного рудного поля на юге страны. Метавулканические породы прорваны гранитами, диоритами, гранодиоритами. Золотое оруденение сосредоточенно в кварцевых жилах мощностью до 3.5 м (Awadalla Yassin et al., 1984; Сорокин, Кожевников, 2014).

До провозглашения независимости золото в стране добывалось единичными крупными предприятиями, многочисленными старателями и маленькими артелями. Старатели разрабатывали поверхностные кварцевые жилы и пустынные россыпи, выбирая руду из маломощных зон ок-

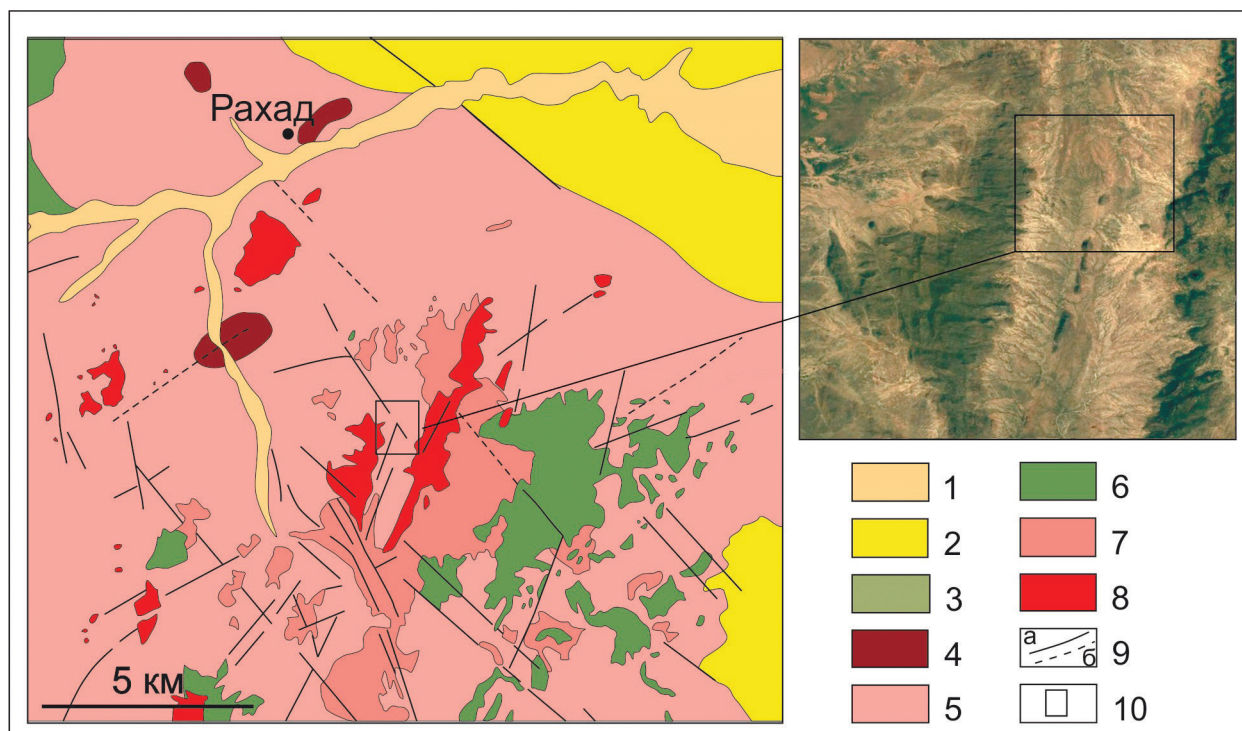


Рис. 2. Геологическая карта участка работ в Республике Судан, с упрощениями по данным (Геологическая..., 1981 и Google Earth Pro).

1 – аллювиальные отложения; 2 – пески, глины, сланцы; 3 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты; 4 – аркозовые песчаники, аргиллиты, известняки; 5 – докембрийский фундамент; 6 – недифференцированные сланцы (метаосадочные породы, мрамора, кварциты); 7 – недифференцированные гнейсы (гранито-гнейсы, амфиболиты); 8 – граниты; 9 – достоверные (а) и предполагаемые (б) разломы; 10 – участок работ.

Fig. 2. Geological map of the working area in Republic of Sudan, simplified after (Geological..., 1981).

1 – alluvial deposits; 2 – sands, clays, shales; 3 – sandstones, siltstones, mudstones, conglomerates; 4 – arkose sandstones, mudstones, limestones; 5 – Precambrian basement; 6 – undifferentiated shales (metasedimentary rocks, marbles, quartzites); 7 – undifferentiated gneisses (granite-gneisses, amphibolites); 8 – granites; 9 – proven (a) and inferred faults (b); 10 – working area.

варцевания и сульфидизации. При работе они использовали установки воздушного обогащения и металлодетекторы. Золото извлекали ручной промывкой измельченной породы с применением ртути.

В 2011 г. Судан создал благоприятные условия для иностранных геологоразведочных компаний. Крупные компании (Mining Company, Managem Group, Orca Gold Incorporated и др.) извлекают золото с применением технологии кучного и чанового цианидного выщелачивания (Ширкунов, 2018). Также в стране работают российские и российско-суданские компании: Kush for Exploration & Production Co. Ltd, Siberian for Mining, «Акрополь Групп» и «М инвест», занимающиеся разведкой и добычей золота в провинциях Нил и Красное море. В республике работают АО «Зарубежгеология» и ООО «Институт минеральных ресурсов стран Африки, Азии и Америки», выполняя поисково-

оценочные, картографические, изыскательские, проектные, научные работы в области геологии (Ширкунов, 2018; Верховин, 2020). В последнем десятилетии Судан значительно увеличил добычу золота. В 2016 г. республика заняла третье место среди стран африканского континента, добыв 93 т золота. В 2017 г. добыча составила 107 т, что позволило войти в десятку мировых лидеров по добыче золота (Ширкунов, 2018; Abu Fatima, 2019).

Изученная площадь расположена в пределах долины с пологим рельефом, осложненной руслами временных водотоков. Здесь распространены толщи метаморфических пород, состоящие из амфиболитов и серицитовых сланцев с прослоями и линзами кварцитов. Метаморфические породы прорваны гнейсами, гранито-гнейсами, гранитными массивами. Аллювиально-пролювиальные отложения представлены обломками кристаллических сланцев, гнейсов, амфиболитов, кварца (рис. 2).

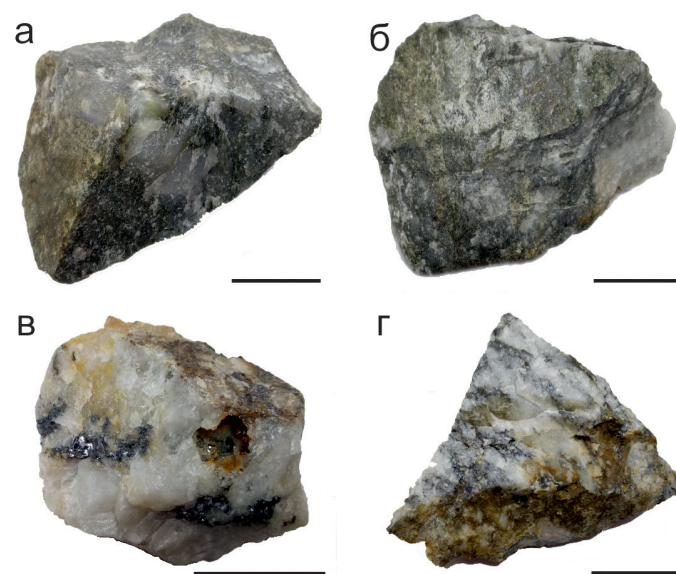


Рис. 3. Золотоносные породы территории вблизи г. Рахад:

а – кварцит; б – сульфидно-хлорит-кварцевый метасоматит; в – фрагмент кварцевой жилы с галенитом; г – кварцевая брекчия с сульфидно-кварцевым цементом. Масштаб 3 см.

Fig. 3. Gold-bearing rocks of the Er Rahad region:

а – quartzite; б – sulfide-chlorite-quartz metasomatite; в – quartz with galena; г – quartz breccia with sulfide-quartz matrix. Scale bar is 3 cm.

Результаты исследований

Отобранные образцы представлены кварцитом, слюдяным сланцем, кварцевой брекчией с сульфидно-кварцевым цементом и сульфидно-хлорит-кварцевым метасоматитом (рис. 3). Для пород с рудной минерализацией характерна вкрапленная, прожилковая, прожилково-вкрапленная текстура и мелкозернистая структура. Основным рудным минералом является пирротин, в меньшем количестве присутствуют сфалерит, пирит, арсенопирит, халькопирит и галенит (табл. 1). В породах встречаются сульфосоли Ag (фрейбергит, пираргирит), теллуриды Ag и Pb (гессит, алтаит), самородное золото и самородный висмут (табл. 1). Золото диагностировано в кварците, сульфидно-хлорит-кварцевом метасоматите, брекчированном кварце с сульфидно-кварцевым цементом и кварце с галенитом (рис. 4).

Размер выделений рудных минералов достигает 0.9 мм. Пирротин, галенит, сфалерит и халькопирит преимущественно имеют интерстициальную форму, пирит и арсенопирит субгедральную, реже катаклазированную формы. Пирротин, пирит и арсенопирит в плоском сечении трещиноватые, в пирротине трещины выполнены халькопиритом, в пирите – пирротином, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, в арсенопирите – пирротином. В пирротине встречаются включения арсенопи-

рита, пирита, сфалерита, галенита, халькопирита, пираргирита, золота. Сфалерит содержит включения галенита, реже золота. В пирите отмечается халькопирит, галенит, пирротин, лейкоксен; в халькопирите – сфалерит и пирит. В галените были обнаружены зерна теллурида Ag и Pb и самородного висмута. Размер включений не превышает 0.01 мм. В составе пирротина, арсенопирита, галенита примеси не диагностированы (табл. 2).

Самородное золото образует изометричные зерна, сростается с галенитом и пирротином (рис. 4). Золото также находится во включениях в пирротине, сфалерите и нерудной матрице. В образце кварца с галенитом золото находится на контакте англезита с кварцем, образуя гнезда размером до 50 мкм (рис. 4). По составу золото варьирует от высокосеребристого до высокопробного с пробностью 511–997 ‰ (табл. 3). Высокое содержание Ag (48.67 мас. %) установлено в золоте из кварцевой брекчии с сульфидно-кварцевым цементом, где золото находится в нерудной матрице (рис. 4). В золоте из остальных образцов содержание Ag варьирует от 0.31 до 15.63 мас. % (табл. 3).

Теллуриды Ag (гессит) и Pb (алтаит) найдены в образце кварца с галенитом, где они образуют неравномерную вкрапленность в галените размером не более 50 мкм (рис. 5). В составе теллуридов примеси не диагностированы (табл. 4).

Список рудных минералов в образцах перспективной площади возле г. Рахад
List of ore minerals in samples from a promising area near the town of Rashad

Таблица 1

Table 1

Образец	Рудные минералы
Кварцит	Пирротин, пирит, халькопирит, пентландит, сфалерит, магнетит, гематит, лейкоксен, золото
Кварц с галенитом	Галенит, пирит, алтаит, гессит, золото, гематит, лейкоксен, англезит
Слюдяной сланец	Пирротин, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пентландит, золото
Сульфидно-хлорит-кварцевый метасоматит	Пирротин, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пентландит, золото
Брекчия кварца с сульфидно-кварцевым цементом	Пирротин, пирит, пентландит, галенит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит, фрейбергит, пираргирит, золото, самородный висмут

Химический состав некоторых сульфидов и сульфоарсенидов (мас. %)

Таблица 2

Table 2

Chemical composition of selected sulfides and sulfarsenides (wt. %)

№ п/п	Номер анализа	Fe	Pb	S	As	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	20373e	61.73	—	38.27	—	100.00	$\text{Fe}_{0.93}\text{S}_{1.00}$
2	20372h	63.71	—	37.12	—	100.82	$\text{Fe}_{0.99}\text{S}_{1.00}$
3	20372d	63.32	—	36.08	—	99.41	$\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.00}$
4	20373d	34.85	—	21.07	44.91	100.84	$\text{Fe}_{0.95}\text{As}_{0.91}\text{S}_{1.00}$
5	20373j	34.13	—	19.74	46.19	100.06	$\text{Fe}_{0.99}\text{As}_{1.00}\text{S}_{1.00}$
6	20373g	—	86.64	13.36	—	100.00	$\text{Pb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$
7	20373c	—	86.61	13.39	—	100.00	$\text{Pb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$
8	20374j	—	86.05	13.27	—	99.32	$\text{Pb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$

Примечание. Анализы 1–3 – пирротин; 4, 5 – арсенопирит; 6–8 – галенит. Здесь и далее в таблицах, прочерк – не определено. Формулы рассчитаны на один атом S.

Note. Analyses 1–3 – pyrrhotite; 4, 5 – arsenopyrite; 6–8 – galena. Hereinafter in tables, dash – not determined. Formulas are recalculated to one S atom.

Химический состав золота (мас. %)

Таблица 3

Table 3

Chemical composition of gold (wt. %)

№ п/п	Номер анализа	Au	Ag	Сумма	Кристаллохимическая формула	Пробность, %
1	20373a	50.83	48.67	99.49	$\text{Ag}_{0.64}\text{Au}_{0.36}$	511
2	20374e	100.46	0.31	100.77	$\text{Au}_{0.99}\text{Ag}_{0.01}$	997
3	20374f	99.01	0.54	99.55	$\text{Au}_{0.99}\text{Ag}_{0.01}$	995
4	20374g	95.90	3.56	99.46	$\text{Au}_{0.94}\text{Ag}_{0.06}$	964
5	20374a	98.40	1.22	99.62	$\text{Au}_{0.98}\text{Ag}_{0.02}$	988
6	20374b	98.94	0.63	99.57	$\text{Au}_{0.99}\text{Ag}_{0.01}$	994
7	20374c	97.34	1.77	99.10	$\text{Au}_{0.97}\text{Ag}_{0.03}$	982
8	20372e	85.71	13.76	99.47	$\text{Au}_{0.77}\text{Ag}_{0.23}$	862
9	20372f	83.76	15.34	99.10	$\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}$	845
10	20372g	86.10	14.28	100.38	$\text{Au}_{0.77}\text{Ag}_{0.23}$	858
11	20372a	86.40	13.89	100.29	$\text{Au}_{0.77}\text{Ag}_{0.23}$	862
12	20372b	86.65	13.62	100.27	$\text{Au}_{0.78}\text{Ag}_{0.22}$	864
13	20372c	83.89	15.63	99.52	$\text{Au}_{0.75}\text{Ag}_{0.25}$	843

Примечание. Формулы золота рассчитаны на $(\text{Au} + \text{Ag}) = 1$.

Note. Formulas of gold are recalculated to $(\text{Au} + \text{Ag}) = 1$.

Сульфосоли Ag (фрейбергит и пираргирит) установлены в образце кварцевой брекчии с сульфидно-кварцевым цементом. Фрейбергит (Ag-тетраэдрит) найден в единичном сростке галенита с включением самородного висмута (рис. 5).

В составе фрейбергита присутствует примеси Ag (18.8–21.92 мас. %) и As (3.0 мас. %) (табл. 5). Пираргирит встречается в виде единичного выделения в пирротине (рис. 5), в его составе примеси не обнаружены (табл. 5). Самородный висмут образует

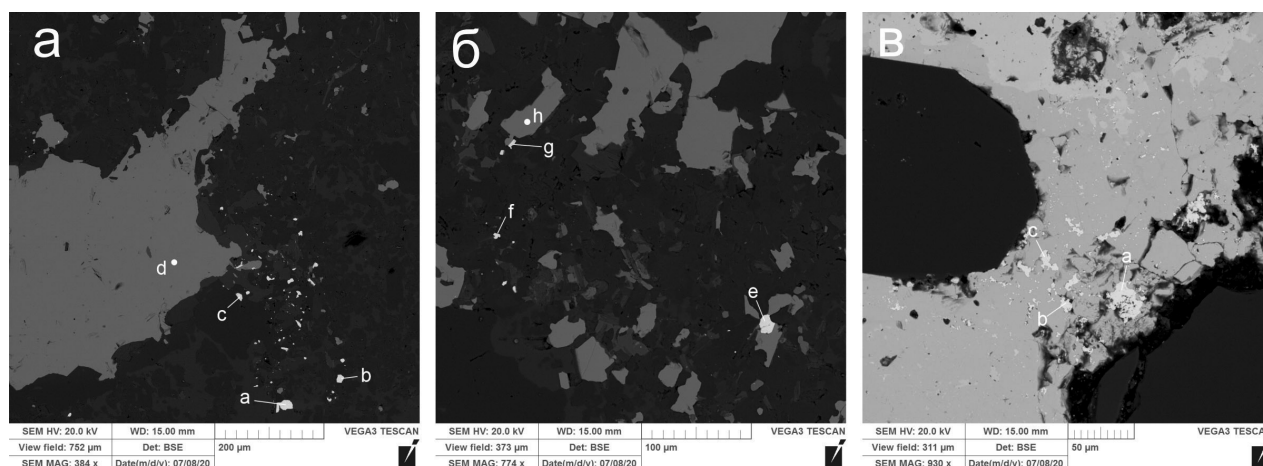


Рис. 4. Золото в образцах района Рахад:

а – включения золота (а, б, с) и пирротина (d) в кварците; б – золото (е, f, g) в сростании с пирротинном (h) в кварците. BSE изображения.

Fig. 4. Gold in samples of the Er Rashad region:

а – inclusions of gold (a, b, c) and pyrrhotite (d) in quartzite; б – gold (e, f, g) intergrowth with pyrrhotite (h) in quartzite. BSE images.

Химический состав теллуридов Ag и Pb (мас. %)

Таблица 4

Chemical composition of Ag and Pb tellurides (wt. %)

Table 4

№ п/п	Номер анализа	Ag	Pb	Te	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	20374d	61.98	—	37.21	99.19	$\text{Ag}_{1.97}\text{Te}_{1.00}$
2	20374h	61.71	—	37.91	99.62	$\text{Ag}_{1.93}\text{Te}_{1.00}$
3	20374i	—	61.62	38.38	100.0	$\text{Pb}_{0.99}\text{Te}_{1.00}$

Примечание. Анализы 1, 2 – гессит; 3 – алтаит. Формулы рассчитаны на один атом Те.

Note. Analyses 1, 2 – hessite; 3 – altaite. Formulas are recalculated to one Te atom.

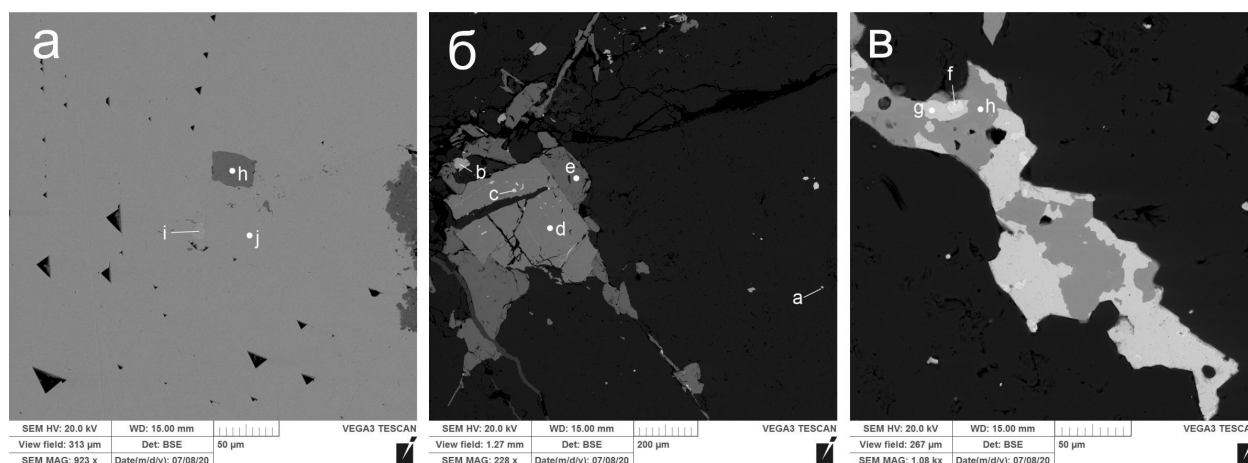


Рис. 5. Редкие рудные минералы в образцах района Рахад:

а – включения теллуридов Pb (i) и Ag (h) в галените (j); б – интерстициальные выделения пирротина (е) в сростании с арсенопиритом (d), пираргиритом (b) и включением галенита (c) в арсенопирите; в – сросток галенита (g) с фрейбергитом (h) и включением самородного висмута (f). BSE изображение.

Fig. 5. Rare ore minerals in samples of the Er Rashad region:

а – inclusions of tellurides Pb (i) and Ag (h) in galena (j); б – interstitial grains of pyrrhotite (e) intergrown with arsenopyrite (d), pyrrargyrite (b) and the inclusion of galena (c) in arsenopyrite; в – intergrowth of galena (g) with freibergite (h) and inclusions of native bismuth (f). BSE-photo.

Таблица 5

Химический состав редких минералов (мас. %)

Table 5

Chemical composition of rare minerals (wt. %)

№ п/п	Номер анализа	Cu	Ag	Sb	Bi	Fe	Zn	S	As	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	20373h	24.82	18.80	28.65	—	5.45	0.75	21.52	—	100.0	$(\text{Cu}_{7.56}\text{Ag}_{3.38})_{10.94}(\text{Fe}_{1.89}\text{Zn}_{0.22})_{2.11}\text{Sb}_{4.56}\text{S}_{13.00}$
2	20373i	20.88	21.92	26.78	—	6.26	0.87	20.28	3.00	100.0	$(\text{Cu}_{6.75}\text{Ag}_{4.18})_{10.93}(\text{Fe}_{2.30}\text{Zn}_{0.27})_{2.58}(\text{Sb}_{4.52}\text{As}_{0.82})_{5.34}\text{S}_{13.00}$
3	20373b	—	59.49	22.29	—	—	—	17.44	—	99.23	$\text{Ag}_{3.04}\text{Sb}_{1.01}\text{S}_{3.00}$
4	20373f	—	—	2.53	96.71	—	—	—	—	99.24	$\text{Bi}_{0.96}\text{Sb}_{0.04}$

Примечание. Анализы 1, 2 – фрейбергит; 3 – пираргирит; 4 – самородный висмут. Формулы рассчитаны 13 (для фрейбергита) и 3 (для пираргирита) атомов серы и $(\text{Sb} + \text{Bi}) = 1$ для самородного висмута.

Note. Analyses 1, 2 – freibergite; 3 – pyrrargyrite; 4 – native bismuth. The formulas are recalculated to 13 (for freibergite) and 3 (for pyrrargyrite) S atoms and to $(\text{Sb} + \text{Bi}) = 1$ for native bismuth.

единичные изометричные, тонкие включения в галените, где последний сростается с фрейбергитом. В самородном висмуте присутствует примесь Sb 2.53 мас. % (табл. 5).

Обсуждение

Золотая минерализация метаморфических поясов может формироваться как в результате собственно метаморфических процессов, так и при участии интрузивной деятельности (Groves et al., 2003; Goldfarb et al., 2005). Рассмотренная выше рудная минерализация имеет отчетливо эпигенетические текстурные черты. На основании присутствия хлорита можно говорить о том, что метаморфизм пород не превышал фации зеленых сланцев. В составе руд присутствует арсенопирит, состав которого согласно арсенопиритовому геотермометру отвечает температурам 430–500 °C (Scott, 1983; Sharp et al., 1985). Обращают на себя внимание широкие вариации состава самородного золота, что может свидетельствовать о гетерогенности оруденения (Morrison et al., 1991). Для месторождений метаморфических поясов пробность золота характеризуется высокими значениями и относительно небольшой дисперсией (Morrison et al., 1991). Поэтому жильные брекчии, самородное золото в которых отличается очень высокими содержаниями Ag, возможно, являются продуктом гидротермальной деятельности, не связанным с основным этапом минерализации.

Выводы

Породы вблизи г. Рахад (Республика Судан) представлены измененными метасоматическими породами – кварцитом, слюдяным сланцем, сульфидно-хлорит-кварцевым метасоматитом, брекчией кварца с сульфидно-кварцевым цементом и

фрагментом кварцевой жили с галенитом. В породах диагностированы пирротин, пентландит, пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит, гематит, магнетит, англезит, лейкоксен, фрейбергит, пираргирит, теллуриды Ag и Pb, самородное золото и самородный висмут. В зависимости от типа пород золото варьирует от высокосеребристого до высокопробного (511–997 ‰). Высокопробное золото находится в кварце с галенитом (964–997 ‰) и кварците (843–864 ‰), высокосеребристое (511 ‰) в брекчии кварца с сульфидно-кварцевым цементом. Возможная температура образования руд (на основании состава арсенопирита) варьирует в пределах 430–500 °C. Предполагается, что изученная минеральная ассоциация является типичной для зеленокаменных поясов и относится к орогенному типу (Goldfarb et al., 2005).

Авторы выражают благодарность Е.В. Белогуб и К.А. Новоселову за ценные советы и замечания в ходе написания статьи.

Литература

- Верхозин С.С. (2020) Золотодобывающая промышленность Судана. Обзор. Золотодобыча. <https://zolotodb.ru/article/12372> (дата обращения 15.09.2020).
- Випфлер Э.Л. (1998) Золотоносная кремнисто-баритовая фация в рудном районе Арьяб, Северо-Восточный Судан. *Металлогения древних и современных океанов-1998. Руды и генезис месторождений*. Миасс, ИМин УрО РАН, 52–57.
- Сорокин А.Б., Кожевникова Е.Г. (2014) История и перспективы рудного поля Гебейт (Республика Судан). *Золотодобыча*, 9(190). <https://zolotodb.ru/article/11127> (дата обращения 1.10.2020).
- Столожан Н. (1999) Колчеданно-полиметаллическое и золотое (вторичного обогащения) оруденение в районе Ариаб (Красноморские холмы, Судан). *Металлогения древних и современных океанов-1999. Рудонос-*

ность гидротермальных систем. Миасс, ИМин УрО РАН, 190–195.

Ширкунов В.В. (2018) Золотодобыча в Судане. http://www.shirkunov.org/sudan_gold_mining.pdf. (дата обращения 25.09.2020).

Abu Fatima M. (2019) Overview of the minerals potential of the Sudan and investment opportunities. <http://mineafrica.com/documents/Sudan.pdf>. (дата обращения 25.08.2020).

Awadalla Yassin A., Khalil F.A., Gadir El Shafie A. (1984) Explanatory note to the geological map at the scale of 1:2,000,000 of the Democratic Republic of the Sudan. *Ministry of Energy and Mining Geological and Mineral Resources Department*. **35**, 1–63.

Geological map of the Sudan (1981). Scale 1:2000000. Drawn up by the Department Arts Graphiques, B.R.G.M. Orleans, France.

Goldfarb R.J., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C., Gosselin P. (2005) Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume* (eds. J. Hedenquist, J. Thompson, R. Goldfarb, J. Richards), 407–450.

Groves D., Goldfarb R., Robert F., Hart C. (2003) Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, **98**, 1–29.

Johnson P.R., Zoheir B.A., Ghebreab W., Stern R.J., Barrie C.T., Hamer R.D. (2017) Gold-bearing volcanogenic massive sulfides and orogenic-gold deposits in the Nubian Shield. *South African Journal of Geology*, **120**(1), 63–76.

Morrison G.W., Rose W.J., Jaireth S. (1991) Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits. *Ore Geology Reviews*, **6**(4), 333–364.

Schlüter Th. (2006) Geological atlas of Africa with notes on stratigraphy, tectonics, economic geology, geohazards and geosites of each country. Berlin, Springer, 261 p.

Scott S.D. (1983) Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Mineralogical Magazine*, **47**, 427–435.

Sharp Z., Essene E., Kelly W. (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages. *Canadian Mineralogist*, **23**, 517–534.

References

Abu Fatima M. (2019) Overview of the minerals potential of the Sudan and investment opportunities. <http://mineafrica.com/documents/Sudan.pdf>. (date of request 25.08.2020)

Awadalla Yassin A., Khalil F.A., Gadir El Shafie A. (1984) Explanatory note to the geological map at the scale of 1:2,000,000 of the Democratic Republic of the Sudan. *Ministry of Energy and Mining Geological and Mineral Resources Department*. **35**, 1–63.

Geological map of the Sudan (1981). Scale 1:2000000. Drawn up by the Departement Arts Graphiques, B. R. G. M. Orleans France.

Goldfarb R.J., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C., Gosselin P. (2005) Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology 100th Anniversary Volume* (eds. J. Hedenquist, J. Thompson, R. Goldfarb, J. Richards), 407–450.

Groves D., Goldfarb R., Robert F., Hart C. (2003) Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, **98**, 1–29.

Johnson P.R., Zoheir B.A., Ghebreab W., Stern R.J., Barrie C.T., Hamer R.D. (2017) Gold-bearing volcanogenic massive sulfides and orogenic-gold deposits in the Nubian Shield. *South African Journal of Geology*, **120**(1), 63–76.

Morrison G.W., Rose W.J., Jaireth S. (1991) Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits. *Ore Geology Reviews*, **6**(4), 333–364.

Schlüter Th. (2006) Geological atlas of Africa with notes on stratigraphy, tectonics, economic geology, geohazards and geosites of each country. Berlin, Springer, 261 p.

Scott S.D. (1983) Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Mineralogical Magazine*, **47**, 427–435.

Sharp Z., Essene E., Kelly W. (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages. *Canadian Mineralogist*, **23**, 517–534.

Shirkunov V.V. (2018) Gold mining in Sudan. http://www.shirkunov.org/sudan_gold_mining.pdf. (date of request 25.09.2020) (in Russian)

Sorokin A.B., Kozhevnikova E.G. (2014) [History and prospects of the Gebeit ore field (Republic of Sudan)]. *Zolotodobycha [Gold Mining]*, **9**(190). <https://zolotodb.ru/article/11127> (date of request 1.10.2020) (in Russian)

Stolojan N. (1999) [Pyrite-polymetallic and gold (secondary enrichment) mineralization in the Ariabian region (Red Sea hills, Sudan)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-1999. Rudonosnost' gidrotermal'nykh sistem [Metallogeny of ancient and modern oceans-1999. Ore content of hydrothermal systems]*. Miass, IMin UrO RAN, 190–195. (in Russian)

Verkhovzin S.S. (2020) [Gold mining industry of Sudan. Overview]. *Zolotodobycha [Gold Mining]*. <https://zolotodb.ru/article/12372> (date of request 15.09.2020) (in Russian)

Wipfler E.L. (1998) [Gold-bearing siliceous-barite facies in the Ariabian ore region, Northeast Sudan]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-1998. Rudy i genesis mestorozhdeniy [Metallogeny of ancient and modern oceans-1998. Ores and genesis of deposits]*. Miass, IMin UrO RAN, 52–57. (in Russian)

Поступила в редакцию 2 октября 2020 г.

После доработки 6 ноября 2020 г.

Принято в печать 10 ноября 2020 г.