

Шарафелдин Х.Э., Верчеба А.А., Васильев Н.Ю.
(МГРИ-РГГРУ)

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗОЛОТО-РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУКАРИ (ЕГИПЕТ)

*Геологические структуры играют важную роль в проявлении золотого оруденения в рудном районе Сукари. Исследование тектоники района было направлено на изучение ориентировки и кинематики рудоконтролирующих и рудовмещающих разломов и зон трещиноватости пород. Рудный район месторождения Сукари сложен докембрийскими вулканогенно-терригенными породами, прорванными гранитоидными интрузивами, внедренными в мощную толщу глинистых сланцев и серпентинитов. Месторождение золота Сукари приурочено к интрузивному массиву, сложенному гранитоидами и габбро-диоритами и состоит из четырех рудоносных зон штокверкового строения, включающих золоторудные залежи. Рудные залежи месторождения представлены золотокварцевыми жилами и прожилково-вкрапленным оруденением в апикальной части гранитного массива в висячем боку на контакте с углеродистыми сланцами. **Ключевые слова:** вулканогенно-терригенные отложения, мафит и ультрамафитовые породы, тектонические деформации, золоторудные месторождения Сукари, рудная зона, золотоносная жила кварца, минерализованные структуры.*

Sharafeldin H.E., Vercheba A.A., Vasilev N.Yu. (MGRI-RGGRU)

TECTONIC DEFORMATIONS OF SUKARI GOLD DEPOSIT (EGYPT)

*Geological structures play an important role in the manifestation of gold mineralization in the Sukari gold mine area. The tectonics study of the area was aimed at studying the orientation and kinematics of ore-controlling and ore-bearing faults and fracture zones of rocks. Sukari gold mine area is complex Precambrian volcanogenic-terrigeneous rocks, broken Granitic intrusions embedded a thick sequence of shales and serpentinites. The Sukari gold deposit is confined to an intrusive massif composed of granitoids and gabbro-diorites and consists of four ore-bearing zones stockworks structure, including gold contents. Gold-bearing quartz veins and veinlets are located in the apical part of the granite massif in the Hanging-wall at the contact with carbonaceous shale. **Keywords:** volcanogenic-terrigeneous deposits, mafic and ultramafic rocks, tectonic deformations, Sukari gold deposit, ore zone, gold-bearing quartz vein, mineralized structures.*

Месторождения золота в Восточной пустыне Египта пространственно связаны с гранитоидными комплексами и особенно с малыми гранодиоритовыми интрузиями. Тектоническое строение месторождений определяется многочисленными кварцевыми жилами в небольших массивах и штоках гранодиорит-плагиио-

гранитового состава в рудных районах Сукари, Умм Рас и Бакрея.

Тектонические условия формирования месторождений, форма рудных залежей, их минеральный и химический состав, распределение минерализации и тип изменения вмещающих пород свидетельствуют, что докембрийские египетские месторождения в гранитоидах относятся к золото-кварц-сульфидной формации мезо-гидротермальных месторождений умеренных глубин [9].

Крупным месторождением Восточной пустыни Египта является Сукари, локализованное в одноименном интрузивном массиве. Оруденение золота на месторождении тесно связано с минерализацией сульфидов и относится к золото-кварц-сульфидной формации.

В тектоническом плане месторождение Сукари находится в складчатом поясе Панафриканского орогена, образованного в позднем протерозое (900–560 млн лет). Месторождение является одним из типичных золоторудных объектов золотоносной провинции Аравийско-Нубийского щита. За более чем 5000-летнюю историю освоения региона из месторождений провинции было добыто около 3,5 тыс. т золота. Свидетельством тому являются многочисленные следы артефактов в древних выработках, в которых проводилась добыча не только золота, а также серебра и меди.

Рудный район месторождения Сукари сложен серпентинизированным меланжем, состоящим из офиолитов, ультраосновных и вулканогенно-терригенных пород, вмещающих интрузии гранитоидов и диоритов.

Офиолитовая свита в районе Сукари образована серпентин-тальк-карбонатными и метагаббро-диоритовыми комплексами пород. Эта свита перекрыта вулканокластическими породами, образованными в пределах островной вулканической дуги.

Вулканокластические породы являются наиболее распространенными на данной площади. Они образуют вытянутый пояс, простирающийся с северо-востока на юго-запад и состоящий главным образом из очень мощных и преобладающих метаморфизованных пород островных дуговых комплексов, содержащих метавулканииты, метапирокластические отложения, кристаллические и глинистые сланцы (рис. 1).

В результате тектонических процессов первичные стратиграфические соотношения между геологическими образованиями были нарушены. Серпентиниты и тальк-карбонатные породы залегают как разрозненные тела внутри, имеющих преобладающее значение метавулканических и метапирокластических пород, островодужных комплексов. При этом контакты между серпентинит-тальк-карбонатными породами и включающими их сланцевыми породами тектонические. Контакты между серпентинит-тальк-карбонатными породами и метагаббро-диоритами постепенные.

Главная тектоническая зона представляет собой крупный ансамбль надвигов с кулисообразным расположением пластин древних пород, осложненный левосторонними сдвиговыми дислокациями. На основе

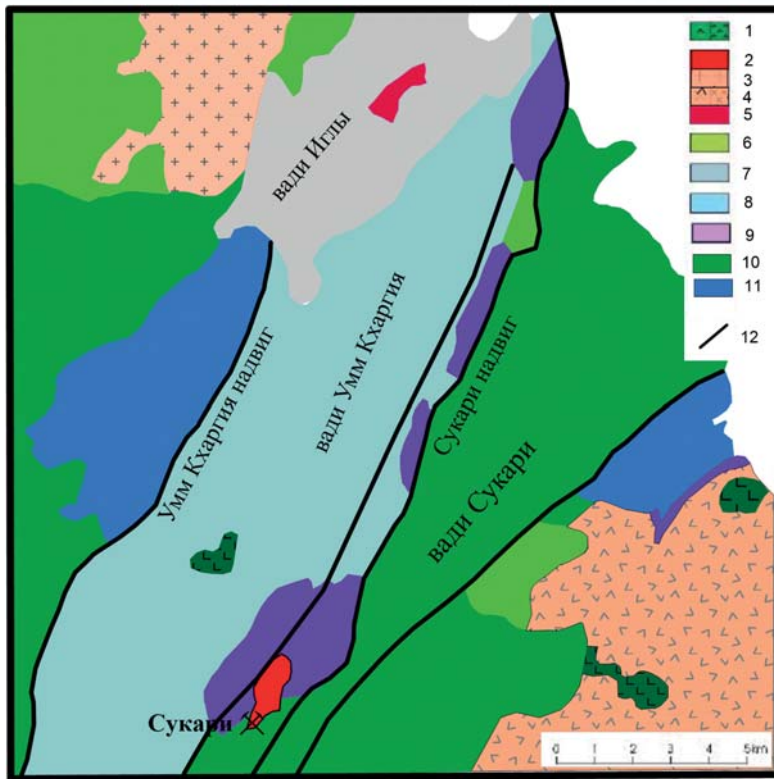


Рис. 1. Геологическая карта района золоторудного месторождения Сукари [5]: 1- габбро, габбро-долериты; 2 — гранит Сукари; 3 — монцограниты; 4 — гранитоиды; 5 — вулканические породы, фельзиты; 6 — долериты; 7 — моласса; 8 — пирокластические породы, туфы; 9 — серпентиниты; 10–11 — нерасчлененные вулканогенно-осадочные отложения; 12 — надвиги, разломы

выявленных тектонических особенностей район месторождения Сукари расположен в узле сочленения Курдеманской зоны сдвига, Восточно-Сукарского надвига и Западно-Сукарского надвига. Надвиговые пластины прослеживаются по разрывам между вулканокластическими метаотложениями и гранитами.

Надвиговые деформации соответствуют началу тектонической активизации в Восточной пустыне Египта. Они сформированы в раннюю фазу сжатия пород земной коры, связанную с формированием вулканической островной дуги. Здесь отмечено эшелонирование панафриканских надвигов с погружением их по простиранию на северо-запад. Пластины надвигов осложнены внедрившимися в них синтетектоническими магматическими породами [6]. Литрические надвиги с расположенными внахлест пластинами метавулканических пород и серпентинитов, как правило, отклоняются в направлении север-северо-запад. Пликативные структуры проявлены в метавулканических породах и образуют антиклинальные складки. Их осевые плоскости имеют падение в юго-западных румбах и умеренно погружаются в северо-запад (рис. 2).

Разномасштабные складки в вулканокластических породах и сланцах проявлены в экзоконтакте с гранитами Сукари. Они изменяются от асимметричных до умеренно опрокинутых и имеют ориентацию осевой плоскости

25° север, 40–60° северо-восток и юго-восток, параллельную надвигам и зонам сдвига. В пределах вулканокластических метаотложений основное направление сланцеватости с север-северо-востока на юг-юго-запад соответствует зоне тектонического напряжения. Зона напряжения в горных породах параллельна надвигу Сукари.

Гранит Сукари внедрился в метавулканисты между двумя сочленяющимися разломами северо-восточного направления, а также сопряженных с ними контактовых разрывов (рис. 3). Месторождение Сукари локализовано в малом двухфазном интрузиве кальциево-щелочных гранитоидов, причем состав гранитов изменяется от граносиенитов до граномонзонитов. Гранит Сукари приурочен к висящему боку надвига Сукари, длинная ось интрузива простирается параллельно региональной сланцеватости с углом падения на восток 50–70° [11]. Интрузив вытянут с север-северо-востока на юг-юго-запад на 2,3 км. В северной, наиболее широкой части, его поперечник достигает 700–800 м. Ближе к южной — он резко сокращается до 100–150 м.

Контакты между интрузивом гранитов Сукари и вмещающими породами субвертикальные и местами опрокинуты. Контактные зоны интрузива прослежены в двух главных направлениях — север-северо-восточное и северо-восточное и соответствуют фронтальным границам пластин надвига.

Структурные деформации в рудном районе месторождения Сукари очень сложные. На тектонические структуры северо-западного простирания на юго-западе района наложены ориентированные с северо-востока на юго-запад дизъюнктивные структуры, контролирующие положение месторождения Сукари. Восточно-направленное падение гранита Сукари и надвигание некоторых гранитных фрагментов на вулканокластические отложения предполагают, что гранит был смещен главным надвигом Сукари.



Рис. 2. Антиклинальные складки север-северо-западного простирания в деформированных метавулканогенных породах

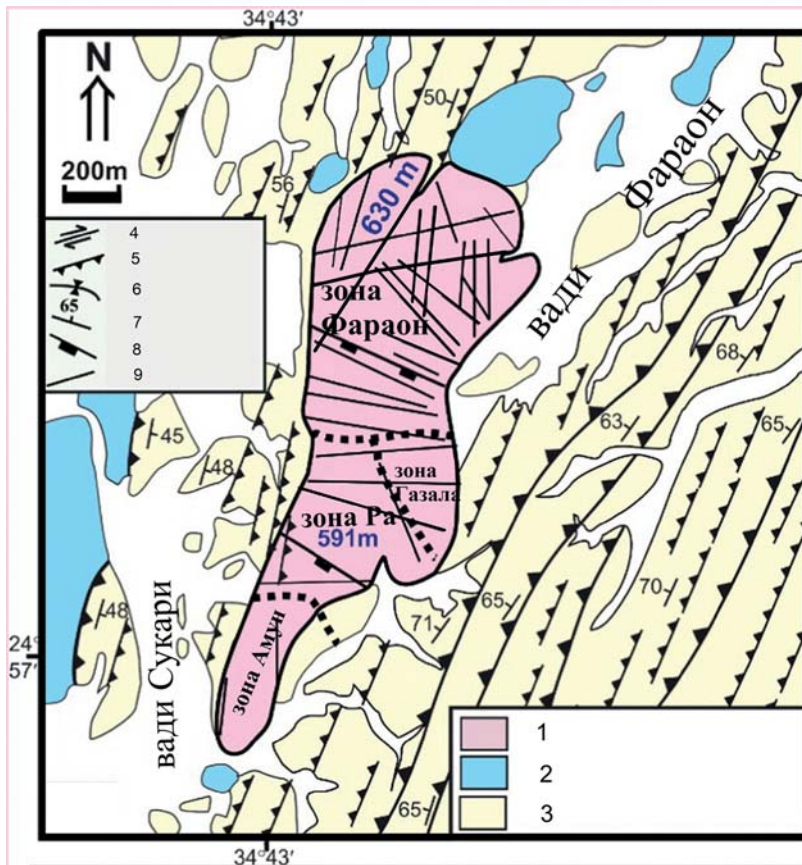


Рис. 3. Геологическая карта месторождения Сукари [10]: 1 — гранитоиды; 2 — метагаббро-диориты; 3 — вулканокластические и метаосадочные породы; 4 — зоны смятия; 5 — надвиги; 6 — оси складок; 7 — углы падения пород; 8 — разломы; 9 — трещины

Сдвиги и разломы в районе Сукари обычно включают два типа сдвигов различной ориентации. Первый тип сдвигов меридиональной ориентировки, где разломы имеют углы падения 45–60° на восток. Это установлено по данным опробования керна скважин. В плоскости сдвига проявлена интенсивная каолинизация.

Второй тип сдвигов с тенденцией север-юг и крутым падением более 70° вмещает основные жилы кварца.

Гранитоидные породы неоднородны по составу, они варьируют от монцонит-гранитов, сиенит-гранитов до розового полевошпатового щелочного гранита. Микроскопическое исследование этих гранитоидных пород показало определенные изменения в структуре и минералогическом составе. Петрографическое исследование этих пород показало наличие поздних гранитов фазы II, относящихся к ассоциации монцо-гранитов и сиенит-гранитов и поздних гранитов фазы III, относящихся к щелочным фельдшпатовым гранитам [8].

Таким образом, пространственное положение месторождения Сукари в одноименном гранитном массиве определяется тектоническими факторами контроля золотого оруденения. Гранит внедрился в пластичные метавулканогенные породы и серпентиниты по региональной зоне разломов и надвигов северо-восточного простирания, соответствующего ориентировке палеопротерозойских рифтогенных структур. Хрупкое тело

гранитов в пластичных зеленосланцевых породах подвержено проявлению в нем как пологих контракционных трещин, так и разноориентированных систем тектонических трещин, выполненных крупными золотокварцевыми жилами с участками их брекчирования. По интенсивности проявления тектонических деформаций в рудовмещающем граните Сукари выделены четыре рудные зоны с севера на юг: Фараон, Газель, Ра и Амун. В зоне Ра мощность гранита уменьшается с глубиной и он смещен плоскостями надвигов. Морфологически рудные зоны можно рассматривать как линзовидные штокверки.

Рудоносные зоны Ра, Газель и Фараон расположены в широкой части штока, они занимают ограниченные пространства интрузива, который вдоль западного контакта не содержит оруденения (рис. 4). В более широкой части штока сеть рудовмещающих нарушений развивается масштабнее, проникая на большие глубины и обуславливая локализацию руд в количестве выше, чем в южной зоне Амун [1].

В рудной зоне расстояние между рудными интервалами в трещинных структурах составляет около 20–25 м. Рудная зона Амун пересечена мелкими сколами и рудными апофизами преимущественно северо-западного и запад-северо-западного направлений. В хрупких гранитоидных образованиях стержневые жилы представлены брекчией или зонами трещиноватости. Приуроченные к ним маломощные жилы (до десятков сантиметров) и прожилки отличаются рудами брекчиевой текстуры или штокверками. Эти жилы, прожилки и штокверковые зоны выполняют разломы мощностью в 1 метр и протяженностью максимально до 100 м.

В плане рудная зона Амун, находящаяся в южном апофизе гранита на северном фланге, ограничена субширотным нарушением. К северу от зоны Амун в зоне Ра установлено два крупных жильных рудных тела субширотного простирания. На верхних горизонтах зоны Амун жильные структуры локализованы в наиболее узкой части интрузивного массива. Эта часть гранитоидов пересечена дорудными и слабо минерализованными разломами субширотной серии. Они расположены менее чем в 30–50 м один от другого. В рудной зоне проявлены трещинные нарушения субмеридионального направления, образующие «решетку» между компактно расположенными дорудными нарушениями. Плотность рудных разрывов и насыщенность ими рудной зоны Амун значительно большая по сравнению с другими, при этом более мощными рудными зонами [1] (рис. 4).

Главной особенностью пространственного положения оруденения в рудных зонах является проявление между сближенными трещинными нарушениями, со-

проводящимися мелкими сколами сульфидно-кварцевых жил слабо золотосодержащих метасоматитов. Метасоматиты с золотосодержащими арсенопиритом и пиритом преимущественно распространились вдоль западного тектонического контакта гранита.

Рудные залежи как элемент строения рудных зон представляют собой минерализованные участки в кварцевых жилах, тектонических брекчиях и прожилках с сульфидами. Эти структуры прослежены более чем на десятки метров по падению вдоль разломов [3].

Минерализация связана с кварцевыми жилами и гидротермальными изменениями вмещающей породы. В рудных жилах присутствует ощутимое количество сульфидных рудных минералов главным образом пирита, арсенопирита, сфалерита, халькопирита, галенита и пирротина. Золото-кварцевые жилы контролируются плоскостями разломов или участками интенсивной трещиноватости пород и состоят в основном из массивного с молочным оттенком или серо-белого кварца. Кварц представляет собой две генерации — ранняя брекчия молочного кварца, который обычно не содержит золота, и поздний кварц серого цвета, обычно золотосодержащий. Основные жилы сопровождаются серией параллельных прожилков и образуют рудные скопления значительной мощности по сравнению с жилами. В жильных зонах отмечены ореолы гидротермальных изменений, которые прослежены на 1–2 м по обе стороны от жил. Гидротермально измененные

породы относятся к метасоматической формации березитов и также являются золотосодержащими [2].

Тектонические брекчии сформировались в местах отделения от ветвей разлома субширотных оперяющих сколов и развитых в последних рудных апофизов. Цемент брекчий содержит золото-кварц-сульфидную минерализацию. Мощность рудных образований возрастает при этом до 15–25 м.

Зоны прожилков состоят из массивного кварца с рассеянным золотом и сульфидными минералами. Интенсивность прожилкования возрастает вблизи тектонических трещин, приближенных к доминирующим сдвигам. Преобладают сдвиги с простыми и разветвленными жилами кварца, рудными прожилками и брекчиями. Высокое содержание золота связано с прожилками сульфидов и обильной минерализацией арсенопирита. Выявлено свободное золото, размером 1–2 мм, заключенное в кварце.

Золото в руде находится в основном в самородном виде или присутствует в золотосодержащем пирите. Содержание золота изменчиво в пределах одной жилы. Заметное увеличение содержания золота было отмечено там, где жилы или вмещающие породы заполнены мелкорассеянными агрегатами графита.

Формирование месторождений, видимо, включало две стадии минерализации. В этом отношении следует упомянуть присутствие больше чем одной фазы золотой минерализации. Первой — была ранняя дорудная стадия, когда возникли безрудные жилы из белого кварца, имеющие ограниченное распространение. Вторая стадия минерализации началась после небольшой тектонической активизации и включает золото-кварцевый и сульфидно-кварцевый парагенезисы. Вмещающие горные породы подверглись березитизации.

Выводы

Золоторудные месторождения докембрия на территории Египта приурочены к покровно-складчатой тектонической зоне распространения мафит-ультрамафитовых, офиолитовых и вулканогенно-осадочных пород неопротерозойской вулканической островной дуги. Золотая минерализация в Восточной пустыне Египта связана с проявлением интенсивной кальций-щелочной магматической деятельности на позднеорогенном этапе эволюции складчатой области.

Район месторождения Сукари расположен в узле трехлучевого сочленения Курдеманской зоны сдвига, Восточно-Сукарского надвига и Западно-Сукарского надвига.

Основные особенности тектонического строения гранита Сукари заключаются в следующем:

- гранитоидные породы неоднородны по составу, они варьируют от монзонит-гранитов, сиенит-гранитов до розового полевошпатового щелочного гранита;

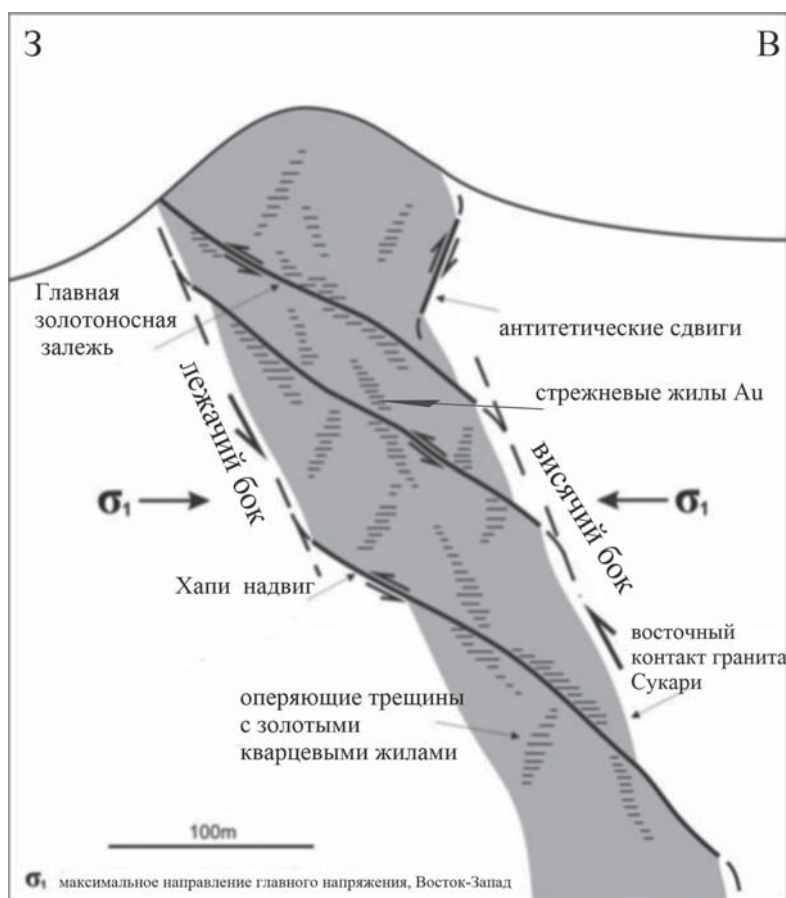


Рис. 4. Геологический разрез рудной зоны Амур [7]

— состав гранита Сукари обуславливает его тектоническое строение. С различными фазами гранита Сукари связаны разрывные нарушения разной ориентировки;

— оруденение занимает апикальную часть гранитов, где интенсивно проявлена трещиноватость горных пород;

— в гранитах проявлены системы прототектонических пологих трещин, подновленных надвигами, которые вмещают стержневые золотокварцевые жилы;

— масштаб и экономические параметры месторождений определяются размерами и особенностями тектонического строения позднеорогенных гранитоидных массивов;

— золотокварцевые и золото-сульфидно-кварцевые рудные залежи связаны с наиболее нарушенными тектоническими участками с повышенной проницаемостью гранитов;

— оперяющие зоны трещиноватости гранитов образуют структурную «решетку», в которой локализованы маломощные золотокварцевые жилы, прожилки и околорудные метасоматиты.

Оруденение золота на месторождении Сукари тесно связано с минерализацией сульфидов и относится к золото-кварц-сульфидной формации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов, Е.М. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса / Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожкина, Н.В. Дудкин. — М.: Астрей-центр, 2015. — 192 с.
2. Шарафелдин, Х.Э. Позднеорогенные месторождения золота Египта / Х.Э. Шарафелдин // Горные науки и технологии. — 2018. — № 1. — С. 89–96.
3. Шарафелдин, Х.Э. Золоторудные орогенные формации в гранитоидах древних щитов (на примере месторождений Аравийско-Нубийского щита): III Всеросс. науч. конф. «Мальшевские чтения» СОФ МГРИ-РГГУ 2017 / Х.Э. Шарафелдин, А.А. Верчеба. — М., 2017. — С. 181–189.
4. Abdelsalam, M.G. Sutures and shear zones in the Arabian-Nubian Shield / M.G. Abdelsalam, R.J. Stern // Afr. Earth Sci. — 1996. — V. 23. — PP. 289–310.
5. Akaad, M.K. Geology of the Region West of Mersa Alam, Eastern Desert, Egypt. Annals of the Geological Survey of Egypt / M.K. Akaad, A.M. Abu Ella, El Kamshoshy. — 1994. — V. XIX. — PP. 1–15.
6. Greiling, R.O. A structural synthesis of the Proterozoic Arabian-Nubian Shield in Egypt / R.O. Greiling, M.M. Abdeen, A.A. Dardir, H. El Akhal, M.F. El Ramly, G.M. Kamal El Din, A.F. Osman, A.A. Rashwan, A.H. Rice, M.F. Sadek / Geologische Rundschau. — 1994. — V. 83. — PP. 484–501.
7. Hellman and Schofield. Structural Controls on Mineralisation at Sukari Gold Deposit, Egypt. Unpublished report to Centamin Egypt Limited, July 2003.
8. Helmy, H. The Sukari Gold Mine, Eastern Desert, Egypt: structural setting, mineralogy and fluid inclusion study. Mineralium Deposita / H. Helmy, R. Kaindl, H. Fritz, J. Loizenbauer. — 2004. — V. 39. — PP. 495–511.
9. Kochin, G.G. The mineral resources of the UAR, Report on generalization of geological data on mineral resources of the UAR carried put under contract 1247 in 1966–1968, part I, Metallic minerals: Internal report, Geol. Surv. of Egypt / G.G. Kochin, F.A. Bassiuni. — 18/1968.
10. Mohamed, A. Transpressional imbricate thrust zones controlling gold mineralization in the Central Eastern Desert of Egypt., Ore Geology Reviews / A. Mohamed, Abd El-Wahed, H. Harraz, M.H. El-Behairy. — 2016. — V. 78. — PP. 424–446.
11. Smith, P. Mineral Resource and Reserve Estimate for the Sukari Gold Project. Egypt. Internal Technical Report, Centamin Egypt Ltd / P. Smith, R. Osman, D. Franzmann, N. Johnson, C. Boreham. — 2014. — 177 p.

© Шарафелдин Х.Э., Верчеба А.А., Васильев Н.Ю., 2019

Шарафелдин Хани Эль-Сайед // hanisharfeldin@gmail.com
Верчеба Александр Александрович // aa_ver@mail.ru
Васильев Никита Юрьевич // geostress@mail.ru

Бебешко Г.И. (ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России),
Голева Р.В. (ФГБУ «ВИМС»)

ОЦЕНКА И КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ ГАЛОГЕНОВ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОКЕАНИЧЕСКИХ РУДАХ

*Минералогическими исследованиями подтверждено присутствие в железомарганцевых океанических рудах (ЖМК и КМК) связанных форм галогенов — ряда минералов, включающих хлор, йод. С помощью ионометрических методов анализа впервые установлено, что в образцах руд содержание связанного фтора находится примерно на том же уровне, а минеральные формы хлора, брома, йода значительно превышают содержания в горных породах суши и заметно различаются по соотношениям между собой. Значительная доля хлора и брома находится в легкорастворимом подвижном состоянии преимущественно в составе талассогенной воды в приповерхностной зоне конкреций. Для прецизионной оценки содержания рудных компонентов необходим контроль содержания легколетучих галогенов, оказывающих мешающее влияние на определение гигроскопической влаги, а для оценки общего количества галогенов в рудах — учет содержания обеих форм галогенов. **Ключевые слова:** железомарганцевые океанические руды (ЖМК, КМК), связанные минеральные и подвижные легкорастворимые формы галогенов, минералогические и ионометрические методы анализа, летучесть галогенов.*

Bebeshko G.I. (FBU RFTSCE), Goleva R.V. (VIMS)

VALUATION AND CONTROL OF HALOGEN CONTENT IN IRON-MANGANESE OCEAN ORES

*Mineralogical studies confirmed the presence of iron-manganese oceanic ores (ZMK and KMC) bound forms of halogens — a number of minerals, including chlorine, iodine. With the help of ionometric methods of analysis for the first time it was found that in the ore samples the content of bound fluorine is approximately at the same level, and the mineral forms of chlorine, bromine, iodine are much higher than the content in the rocks of the land, and differ markedly in relation to each other. A significant proportion of chlorine and bromine is easily soluble in mobile state, mainly in the composition of thalassogenic water in the near-surface zone of nodules. For a precise assessment of the content of ore components, it is necessary to control the content of easily volatile halogens, which have an interfering effect on the determination of hygroscopic moisture, and to estimate the total number of halogens in ores — to take into account the content of both forms of halogens. **Keywords:** bound mineral and mobile easily soluble forms of the halogens, oceanic iron-manganese ore (ZMK, KMC), mineralogical and ionometric methods of analysis, volatility of halogens.*

Введение

При изучении состава и свойств высокоресурсных железомарганцевых руд дна Мирового океана [1] уделяется недостаточно внимания определению в них галогенов. В океанической воде возможно участие гало-