

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCE

DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-174-183

УДК 552.56+553.31

Научная статья

**Перспективы золотоносности железисто-кремнистой формации Египта
и Курской магнитной аномалии****Х.Э. Шарафелдин, А.А. Верчеба**Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23*История статьи:*

Поступила в редакцию: 16 января 2019

Доработана: 13 марта 2019

Принята к публикации: 25 марта 2019

Ключевые слова:

полосчатые железокремнистые формации; Восточная пустыня Египта; Аравийско-Нубийский щит; Курская магнитная аномалия; золотая минерализация; неопротерозой; вулканогенно-осадочные отложения; золото-кварц-сульфидный тип руды

Железисто-кремнистые формации (ЖКФ) приурочены к докембрийскому фундаменту Аравийско-Нубийского щита в пределах центральной части Восточной пустыни Египта. С полосчатыми железистыми кварцитами пространственно связана золотая минерализация, представляющая одну из самых древних проявлений золотой руды. Породы докембрия объединены в комплекс отложений неопротерозойского пан-африканского мегацикла развития территории. Полосчатые железокремнистые породы залегают в осадочно-вулканогенных породах, которые формировались в троговых зонах субдукции, и представлены метаморфизованными железистыми кварцитами, джеспилитами и сланцами. В породах ЖКФ проявлены тектонические дислокации, трещины сдвига и трещины отрыва, выполненные золото-кварц-сульфидной минерализацией. Состав пород ЖКФ определяется присутствием двух главных минералов: кварца и гематита. Перспективными на выявление золотосодержащей минерализации в породах ЖКФ могут быть железистые кварциты с проявлением продуктов эпигенетической гидротермальной деятельности в результате активизации субмаринного вулканизма толеитового типа.

Введение

Докембрийские полосчатые железисто-кремнистые формации (ЖКФ) – одно из величайших минеральных сокровищ земного шара. Это – главный мировой источник железа. Породы ЖКФ широко распространены в архее и палеопротерозое и содержат стратифицированные залежи железной руды.

Наиболее важные районы распространения пород ЖКФ – озеро Верхнее (США), Рапитан, Лабра-

дор (Канада), Хамерсли (Австралия), Трансвааль (Южная Африка), Кривой Рог (Украина), Воронежский кристаллический массив, Курская магнитная аномалия (КМА) (Россия), Минас-Жерайс (Бразилия). Новые данные свидетельствуют о том, что отложения железисто-кремнистой формации могли образоваться в палеозое. В Китае обнаружено месторождение полосчатых железных руд кембрийского возраста (527 млн лет) [1].

Важное значение имеют и сопутствующие полезные компоненты, в частности золото. На юге Африки, в Зимбабве, расположена группа мелких месторождений золота в относительно небольших зеленокаменных поясах (трогах). Более крупные месторождения, как правило, комплексные и сочетают несколько типов месторождений. В зеленокаменном поясе Амалия в Южной Африке в отло-

Шарафелдин Хани Эльсайед – аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых; hanisharfeldin@gmail.com

Верчеба Александр Александрович – декан геологоразведочного факультета, профессор, доктор геолого-минералогических наук.

© Шарафелдин Х.Э., Верчеба А.А., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

жениях ЖКХ разрабатываются три месторождения: Абельскоп, Гудплейс, Бозменрус, а в Танзании осваивается месторождение Гейта (Западная Африка).

Таким образом, с докембрийскими отложениями железисто-кремнистой формации пространственно связано проявление благороднометалльной минерализации и, в частности, золотого оруденения. Особенности локализации месторождений золота в породах железисто-кремнистой формации исследованы на территории КМА и в Восточной пустыне Египта.

Цель работы – изучить геологические особенности состава и строения пород железисто-кремнистой формации Восточной пустыни Египта и КМА с позиций их потенциальной золотоносности и прогнозирования комплексных золото-железорудных месторождений в докембрийских формациях фундамента древних платформ.

Основываясь на геологической обстановке и предполагаемом способе формирования, Г. Гросс выделил три основных типа образований железисто-кремнистой формации [2]:

1) вулканогенно-осадочный субмаринный (тип Алгомы), потенциально золотоносный, обычно архейского возраста;

2) осадочно-терригенный мелководный (тип Сюпириор), как правило, палеопротерозойского возраста;

3) неопротерозойские залежи железистых кварцитов (тип Рапитан), также относятся к ЖКФ, но гораздо менее распространены по сравнению с архейско-нижнепротерозойскими отложениями.

1. Железисто-кремнистые формации Курской магнитной аномалии

Одним из изученных районов распространения пород ЖКФ является Курская магнитная аномалия. КМА – это крупнейший железорудный бассейн в России, который занимает площадь более 160 тыс. км² и приурочен к Воронежскому выступу докембрийских кристаллических пород.

Железисто-кремнистые отложения прослежены в меридиональном направлении вдоль троговых зон, приурочены к кристаллическому фундаменту, глубина залегания которого колеблется в пределах 60–650 м. Общая мощность продуктивной толщи железистых кварцитов достигает 200 м.

Богатые руды связаны с древней корой выветривания железистых кварцитов, являясь про-

дуктом их окисления и природного обогащения. Они состоят в основном из мартита, мелкочешуйчатого гематита, лимонита и сидерита. Богатые руды проявлены в двух формах залегания: горизонтальные плащеобразные залежи на головах пластов железистых кварцитов и крутопадающие залежи, уходящие иногда на глубину до 700 м.

Железные руды докембрийского возраста перекрыты чехлом палеозойских, мезозойских и кайнозойских отложений мощностью до 350 м и более.

Запасы разведанных месторождений превышают 65,2 млрд т; из них более половины сконцентрировано в уникальных по запасам месторождениях: Михайловском в Курской области, Лебединском, Стойленском, Стойло-Лебединском, Коробковском и Приоскольском – в Белгородской области. Запасы каждого превышают 2 млрд т.

На территории бассейна КМА распространены два промышленных типа железных руд: осадочно-метаморфизованные железистые кварциты (джеспилиты) (до 40 % Fe) и богатые железные руды коры выветривания (до 65 % Fe). Железистые кварциты слагают большую часть пород средней свиты курской серии нижнего протерозоя. Среднее содержание Fe в железистых кварцитах 32–36 %, в мартитовых и железно-слюдково-мартитовых рудах коры выветривания 52–66 % с малым содержанием вредных примесей. Например, палеопротерозойские железисто-кремнистые формации Воронежского кристаллического массива (ВКМ) имеют низкое содержание Al, Ti, Cr, Ni и REE. Результаты минералого-геохимических исследований металлоносных кремнистых обломочных пород Коробковского, Лебединского, Стойленского и Александровского месторождений Старооскольского железорудного района Курской магнитной аномалии показали их геохимическую специализацию на U, Y, TR, Zr, P, As, Se, Au, Ag при высокой вариативности содержания перечисленных элементов [3].

Изучение рудоносности кремнистых пород на площади промышленного железорудного района весьма перспективно, учитывая значительные ресурсы содержащихся в них полезных компонентов (U, Au, Y, TR, Zr и т.д.), которые могут быть попутно извлечены при комплексном освоении крупнотоннажных железорудных месторождений.

Золотоносность железисто-кремнистых отложений также проявлена в породах фундамента Воронежского кристаллического массива. Известны небольшие проявления золота в железисто-

кремнистых образованиях обоянского комплекса раннего архея, содержащие до 5,9 г/т Pt и 1,3–7,5 г/т Au [4].

Обломочные породы стойленской свиты курской серии нижнего протерозоя КМА в отдельных участках района сульфидизированы, и только в таких минерализованных преимущественно пиритом породах установлено значимое содержание золота. Базальные кварцевые конгломераты мощностью 1,0–1,3 м содержат золото от 1,0 до 3,0 г/т. Относительно повышенная золотоносность (до 6 г/т) отмечена в конгломератах южного фланга Коробковского месторождения КМА. Золотоносные конгломераты сильно деформированы и метаморфизованы, содержат большое количество циркона и ильменита (до 15 %), а среди сульфидов заметно возрастает роль пирротина

Наиболее полно изучены многочисленные проявления золота, приуроченные к железистым кварцитам «курского типа». Курский тип месторождений объединяет кварц-конгломератовые прослои с повышенным содержанием золота, металлов платиновой группы, отчасти урана, связанные с раннепротерозойскими рифтогенными структурами. Содержание драгоценных металлов в различных металлогенических зонах колеблется в широких пределах: от Pt – 10–100 мг/т, Pd – 20–200 мг/т, МПГ до 0,5 г/т, Au – 0,1–475 г/т, U – 0,05–0,15 %. Повышенное содержание золота также приурочено к межформационным сланцам палеопротерозойского комплекса [3].

2. Железисто-кремнистые формации Восточной пустыни Египта

Другой район распространения отложений ЖКФ, который исследуется в последнее время, – это территория Восточной пустыни Египта, занимающая северо-восточную окраину Аравийско-Нубийского щита (рис. 1). Полосчатые железистые кварциты и джеспилиты распространены в неопротерозойских осадочно-вулканогенных породах докембрийского фундамента (760–650 млн лет) и вытянуты в троговых зонах вдоль западного побережья Красного моря. Они отнесены к зеленосланцевой фации метаморфизма. В геологической литературе железисто-кремнистые полосчатые породы соответствуют Banded Iron Formation (BIF).

Ореол отложений ЖКФ занимает площадь около 30 тыс. км². Общие запасы железной руды ЖКФ

в Восточной пустыне составляют 53 млрд т [5], которые в настоящее время не используются из-за высокого содержания в них SiO₂ [6].

Минеральный состав полосчатых железистых кварцитов из разных районов Восточной пустыни Египта определяется присутствием двух главных минералов: кварца и гематита; кроме того, постоянно в небольших количествах отмечены магнетит и апатит.

Полосчатые железные руды относятся к оксидной (магнетит + гематит), силикатной (кварц + хлорит, кальцит, эпидот, плагиоклаз) и карбонатной (сидерит, кальцит) геохимическим фациям.

3. Геолого-геохимические особенности железисто-кремнистых пород КМА и Восточной пустыни Египта

Наиболее интересная геохимическая особенность объектов ЖКФ Восточной пустыни Египта – высокие отношения Fe/Si и Fe³⁺/Fe²⁺ сравнительно с другими железисто-кремнистыми формациями мира. ЖКФ Египта имеют более высокие значения Al и низкие Cr, Ni в отличие от железистых кварцитов других регионов (табл. 1). Малое количество первичных сульфидов и сидерита говорит об удалении среды осадконакопления от наиболее глубоких частей бассейнов [7]. Оксидная и силикатная геохимические фации ЖКФ наиболее распространены, а в Восточной пустыне Египта карбонатная фация присутствует на некоторых месторождениях – Вади Кареим, Вади Даббах и Хадраба.

Кремнистые, карбонатно-кремнистые и рудно-карбонатно-кремнистые включения прослежены в гематитовых слойках и биминеральных гематит-кварцевых прослойках. Подобные образования могут иметь отчасти коллоидное происхождение, указывать на характер и способ минералообразования в диагенезе.

На месторождениях Египта полосатые железные руды различаются по содержанию в них оксидов железа. Содержание Fe₂O₃ в отложениях ЖКФ всегда более 50 %. Содержание SiO₂ обычно 37–44 %, Al₂O₃ – до 1,5–2 % [9]. Содержание таких компонентов, как TiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, CO₂ не превышает нескольких долей процента. Содержание серы и фосфора – несколько тысячных, иногда сотых долей процента (табл. 2). Отмечается довольно высокое содержание железа в яшмовидном кварце, обусловленное присутствием тонко рассеянного дисперсного гематита

и единичных включений мартитизированного магнетита. Повышенные количества кальцита в кварцевых слоях египетских месторождений ЖКФ связаны с тончайшими прожилками эпигенетического карбоната, рассекающего породу.

Относительно высокое отношение $Fe/Si = 1,8-6,2$ (рис. 2) [2] делает их потенциально привлекательными для добычи железной руды и позволяет их разделить на измененные ($Fe/Si > 3,0$) и

неизмененные ($Fe/Si < 3$) руды. Отношение Fe/Si значительно выше для египетских ЖКФ, затронутых изменением (гидротермально-метасоматическим) по сравнению с неизменными отложениями.

Неизмененные отложения имеют более низкие значения $Fe_{общ}$ и FeO/Fe_2O_3 и обычно более высокое содержание Al_2O_3 по сравнению с измененными железокремнистыми породами (табл. 2).

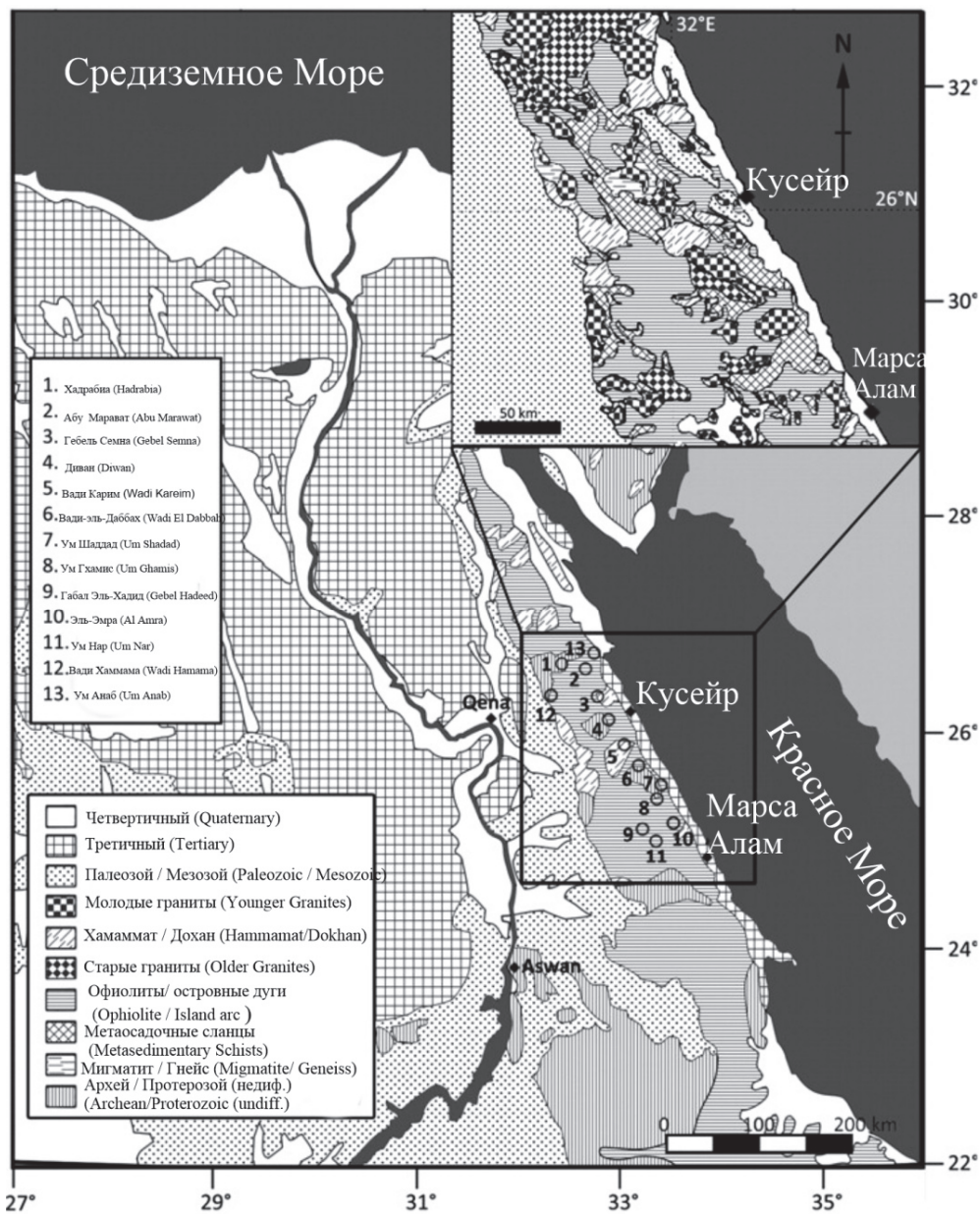
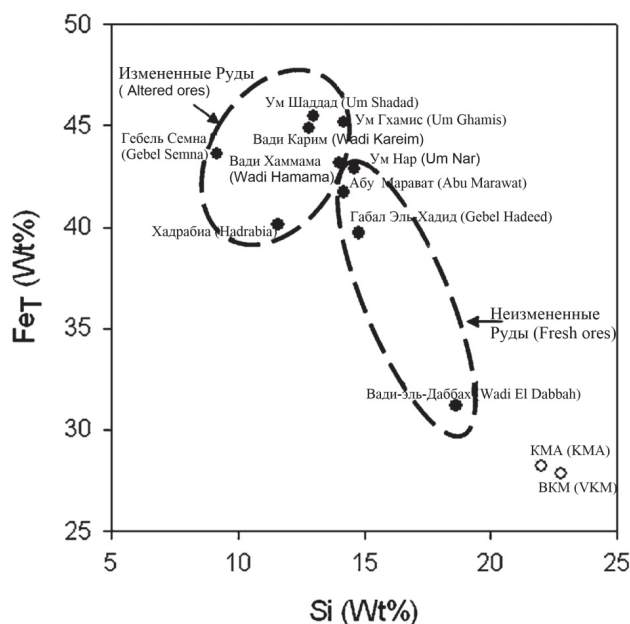


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Египта [8]: вставка показывает расположение месторождений ЖКФ (в кружках)
[Figure 1. Schematic geological map of Egypt [8]: the insert shows the location of the BIF deposits (in circles)]

Таблица 1

Геолого-геохимические особенности железисто-кремнистых пород КМА и Восточной пустыни Египта
[Table 1. Geological and geochemical features of ferruginous-siliceous rocks of
Kursk Magnetic Anomaly (KMA) and the Eastern Desert of Egypt]

Параметры ЖКФ [Parameters BIF]	ЖКФ Курской магнитной аномалии [BIF of Kursk Magnetic Anomaly]	ЖКФ Восточной пустыни Египта [BIF of the Eastern Desert of Egypt]
Возраст (млрд лет) [Age (billion years)]	AR (>2,7)	V (0,75–0,65)
Тектоническая позиция [Tectonic position]	Зеленокаменный пояс [Greenstone belt]	Активизированная окраина кратона [Activated craton edge]
Структурная позиция [Structural position]	Троговые зоны фундамента Русской платформы [Trough zone of the basement of the Russian platform]	Троговые зоны в фундаменте Аравийско-Нубийского щита [Trough zone of the basement of the Arabian-Nubian shield]
Вид деформации горных пород и текстуры [Kind of rock deformation and texture]	Складчатость блоковая, тонкая полосчатость [Folding block, thin banding]	Складчатость, грубая плейчатость [Folding, rough flatness]
Вмещающие породы, мощность рудовмещающих отложений [Host rocks, thickness of ore-bearing deposits]	Толейты и известковисто-щелочные вулканы, туфы, граувакки, глинистые сланцы Более 200 м [Tholeiites and calcareous-alkaline volcanics, tuffs, greywackes, shales More than 200 m]	Толейты и известковисто-щелочные вулканы, туфы, граувакки 5–30 м [Tholeiites and calcareous-alkaline volcanics, tuffs, greywackes 5–30 m]
Вулканизм [Volcanism]	Базальтоидный субмаринный [Basalt submarine]	Толейтовый субмаринный [Tholeiitic submarine]
Геохимические особенности пород. Содержание Fe, Fe ³⁺ , Si, Fe/Si, сульфиды металлов, REE [Geochemical features of rocks. Fe, Fe ³⁺ , Si, Fe/Si, metal sulphides, REE content]	Повышенное содержание Cr, Mn, Ni, Cu, As и Au [High grades of Cr, Mn, Ni, Cu, As and Au]	Fe ₂ O ₃ /FeO = 5,5–8. Fe/Si = 1,4–2,75. Пониженные Cr, Co, Ni. [Lower Cr, Co, Ni.] Sm, + Nd, + Eu
Геохимические фации пород [Geochemical facies of rocks]	Оксидная, силикатная, карбонатная [Oxide, silicate, carbonate]	Оксидная, силикатная, карбонатная [Oxide, silicate, carbonate]
Минеральный тип руд [Mineral type of ores]	Магнетит-гематитовый [Magnetite-hematite]	Кварц-магнетит-гематитовый [Quartz-magnetite-hematite]
Рудные минералы [Ore minerals]	Магнетит > гематит [Magnetite > hematite]	Магнетит = гематит [Magnetite = hematite]


Рис. 2. Геохимическая диаграмма отношения Si/Fe в измененных и неизмененных породах ЖКФ Египта [2]
[Figure 2. Geochemical diagram of the Si/Fe ratio in the fresh and altered rocks of the BIF of Egypt [2]]

Химический состав пород железокремнистой формации Египта и России (КМА)
 [Table 2. Chemical composition of rocks of the ferruginous-siliceous formations of Egypt and Russia (KMA)]

% / ppm	Умм Шадад [Um Shadad]	Вади-эль-Дабба [Wadi El Dabbah]	Вади Карим [Wadi Kareim]	КМА [Михайловское месторождение] КМА [Mikhail Field]
	Takla et al., 1999 [10]	Khalil, 2012 [7]	Essawy et al., 1997 [11]	Савко, 2015 [12] [Savko, 2015 [12]]
SiO ₂	27,81	39,96	27,42	52,14
TiO ₂	0,08	0,31	0,09	0,02–2015
Al ₂ O ₃	2,08	6,21	1,18	0,27
Fe ₂ O ₃	53,20	38,60	58,91	48,57
FeO	10,66	5,42	4,73	–
MnO	0,07	0,06	0,05	0,02
MgO	0,83	1,89	0,74	0,15
CaO	3,15	2,79	2,78	0,25
Na ₂ O	0,34	1,18	0,07	0,08
K ₂ O	0,20	1,05	0,02	0,14
P ₂ O ₅	0,06	1,19	0,39	0,08
Zr	43	77	20	1,5
Y	45	36	18	1,04
Sr	70	77	68	10,2
Zn	701	15	26	4,9
Cu	180	39	86	10,6
Ni	152	5	39	–
Co	41	72	8	6

В железных рудах, за исключением наиболее северного месторождения Хадрабия (Hadrabia), преобладающий оксид – магнетит, считающийся первичным, даже если он сильно мартитизирован. На месторождении Хадрабия определены равные количества магнетита и гематита. Сланцеватость отмечается от макро- до мезо- и микроуровней (рис. 3). В железной руде отмечена микробрекчия в рудных гематитовых прослоях, связанная, возможно, с проявлением субмаринных землетрясений при активизации вулканической деятельности (рис. 4). Обычно магнетитовые слои чередуются с гематитовыми и силикатными, и лишь в рудах Хадрабия отмечены седиментогенные оолитовые и пизолитовые текстуры.

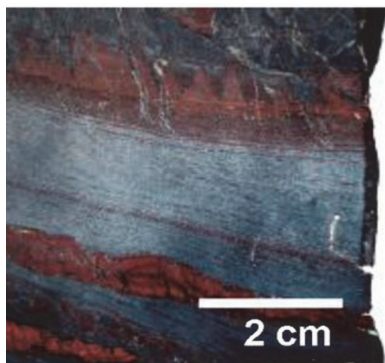


Рис. 3. Микро- и мезополосчатость железисто-кремнистых отложений Египта
 [Figure 3. Macro- and mesoscale of ferruginous-siliceous deposits of Egypt]



Рис. 4. Гематитовая микробрекчия в железной руде
 [Figure 4. Hematite microbreccias in iron ore]

Источниками железа и кремния в ЖКФ обычно являются: химическое выветривание на континентах [13]; вулканическая субмаринная активность или гидротермальная деятельность на дне океана и в осадочных бассейнах [14]; гидротермальное выщелачивание ранее существовавших осадков [15].

Субмаринная вулканическая активность была проявлена в виде образования щелочно-известковых лав и толеитовых базальтов и сопровождалась гидротермальной деятельностью, связанной с островодужным вулканизмом. Эти процессы являются наиболее вероятными источниками железа и кремнезема для ЖКФ на территории Египта.

Так, все египетские месторождения ЖКФ (за исключением Эль-Дабба) по условиям образо-

вания и отношению $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ соответствуют газогидротермальным месторождениям (рис. 5).

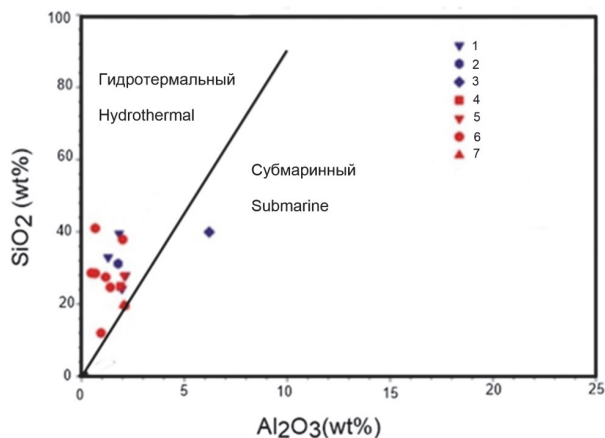


Рис. 5. Геохимическая диаграмма отношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ в ЖКФ месторождений:

1 – Ум Гхамис [10]; 2 – Ум Нар [16]; 3 – Вади-эль-Даббах [9]; 4 – Хадрабия; 5 – Ум Шаддад [10]; 6 – Вади Карим; 7 – Гебель Семна [7]

[Figure 5. Geochemical diagram of the $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ratio in BIF deposits:

1 – Um Ghamis [10]; 2 – Um Nar [16]; 3 – Wadi al-Dabbah [9]; 4 – Hadarbia; 5 – Um Shaddad [10]; 6 – Wadi Karim; 7 – Gebel Semna [7]

С полосчатыми железистыми кварцитами Египта пространственно связана золотая минерализация, представляющая одну из самых древних проявлений золотой руды.

Содержание золота в отложениях ЖКФ варьируется от 0,8 до 2,05 г/т (со средним значением 1,5 г/т). Золото показывает значительную положительную корреляцию с Cu, Ni, Co, Pb, Zn и V. Главными компонентами минерализованных золотосодержащих зон в полосчатых железистых кварцитах являются пирит, халькопирит, сидерит, хлорит, карбонаты и кварц.

Содержание золота от 0,3 до 0,6 г/т установлено в железных рудах месторождений Ум Нар и Габал Эль-Хаид. Исследования распределения золота в районе Ум Нар показали, что золотом обогащены гематитовые полосы относительно более богатых магнетитом прослоев.

Золотая минерализация, связанная с оксидной фацией пород, была установлена также в районах Вади Карим, Габал Эль-Хаид и Увейнат [6]. Высокой золотоносностью отличаются железисто-кремнистые породы районов Вади Карим, Вади-эль-Даббах, Умм-Гхадис, Габал-Эль-Хаид и Ум Нар.

Первоначальный золотосодержащий минерал является магнетитом, и его мартитизация обусло-

вила вынос золота и его локальную концентрацию в гематите (мартите). Увеличение содержания золота приурочено к менее деформированным частям железокремнистых пород в связи с перераспределением золота из областей с высокой степенью деформации пород до участков с меньшей деформацией в условиях пластической деформации железисто-кремнистых отложений. Высокое содержание золота выявлено в местах, где проявлены сдвиговые трещины и трещины отрыва, которые могут являться каналными путями для золотосодержащих флюидов. Золото установлено здесь в кварц-карбонатных прожилках в породах ЖКФ.

Заключение

Месторождения золота железисто-кремнистых пород достаточно распространены и занимают определенную геологическую позицию. Это выражается в следующем:

- промышленное оруденение в железисто-кремнистых формациях в зеленокаменных поясах приурочено к линейным трогам, ориентированным вдоль осевой линии зеленокаменных поясов;
- железорудные горизонты, как правило, подстилаются толщей кальциево-щелочных метабазальтов или их туфов вулканической островной дуги;
- золотосодержащие залежи в породах ЖКФ проявлены в районах распространения месторождений вулканогенных массивных сульфидных руд;
- золотая минерализация тяготеет к гематитовым прослоям в сланцах, пластам сульфидной или карбонатной фаций, кремнистым обломочным породам, имеет стратифицированный характер, представлена вкрапленным и прожилково-вкрапленным типами руд;
- ведущее значение на оруденение оказывает структурный контроль, который выражается в формировании зон повышенной проницаемости в железисто-кремнистых породах в местах проявления различных тектонических дислокаций, трещин сдвига и трещин отрыва, выполненных золото-кварц-сульфидной минерализацией;
- оруденение египетских месторождений ЖКФ представлено измененными ($\text{Fe}/\text{Si} > 3,0$) и неизменными ($\text{Fe}/\text{Si} < 3$) рудами (в зависимости от признаков гидротермальной деятельности), а геохимические особенности золотосодержащих пород ЖКФ указывают на высокие отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Fe/Si и $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, что свойственно измененным

(гидротермальным) месторождениям железисто-кремнистой формации мира;

– минеральный состав золотоносных ЖКФ определяется присутствием двух главных минералов: кварца и гематита, кроме того, постоянно в небольших количествах присутствуют магнетит и апатит;

– в породах египетских ЖКФ отмечено повышенное содержание золота (до 2,05 г/т) в гематитовых прослоях, содержащих Cu, Ni, Co, Pb, Zn и сульфидную минерализацию;

– в подстилающих зеленокаменных породах промышленные концентрации золота тяготеют к пересечению разломов и зон расланцевания пород;

– оруденение не распространяется в перекрывающие железисто-кремнистые породы и осадочные толщи;

– перспективными для выявления золотосодержащей минерализации в породах ЖКФ на территории Египта могут быть железокремнистые отложения с проявлением продуктов эпигенетической гидротермальной деятельности в результате активизации субмаринного вулканизма толлеитового типа.

Список литературы

1. Li Z.Q., Zhang L.C., Xue C.J., Zheng M.T., Zhu M.T., Robbins L.J., Slack J.F., Planavsky N.J., Konhauser K.O. Earth's youngest banded iron formation implies ferruginous conditions in the Early Cambrian ocean // *Scientific reports*. 2018. Vol. 8. Issue 1. 9970. doi: 10.1038/s41598-018-28187-2

2. Gross G.A., Mcleod C.R. A preliminary assessment of the chemical composition of iron formations in Canada // *The Canadian Mineralogist*. 1997. Vol. 18. Pp. 223–229.

3. Кушнеренко В.К. Докембрийские металлоносные конгломераты КМА. Воронежский кристаллический массив // *Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: информационный сборник*. Вып. 157. М., 2011. С. 117–121.

4. Савко А.Д., Шевырëв Л.Т. Железисто-кремнистые формации континентов – новые историко-минералогические данные о распределении, возрасте, генезисе // *Вестник ВГУ. Серия: Геология*. 2017. № 3. С. 5–17.

5. Dardir A.A. States and futures development of iron and steel industry in Egypt: internal report / *Geological Survey and Mineral Authority*. Egypt, 1990. P. 22.

6. Sims P.K., James H.L. Banded iron ore formation of late Proterozoic age in the CED, Egypt: geological

and tectonic setting // *Economic Geology*. 1984. Vol. 79. Pp. 1777–1784.

7. Khalil K.I., El-Shazly A.K. Petrological and geochemical characteristics of Egyptian banded iron formations: review and new data from Wadi Kareim // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2012. Vol. 2. Pp. 105–126.

8. El Gaby S., List F.K., Tehrani R. The basement complex of the Eastern Desert and Sinai // *The Geology of Egypt / ed. by S. Rushdi*. Rotterdam: Balkema, 1990. Pp. 175–184.

9. Оникиенко Л.Д., Малых В.М., Ибрагим Салем. Сравнительная характеристика яшмовидных железистых кварцитов из месторождений ЮМА, Кривого Рога и Восточной пустыни Египта // *Известия вузов. Геология и разведка*. 1988. № 6. С. 37–44.

10. Takla M.A., Hamimi Z., Hassanein S.M., Kaoud N.N. Characterization and genesis of the BIF associating arc metavolcanics, Umm Ghamis area, Central Eastern Desert, Egypt // *Egypt. Mineral*. 1999. Vol. 11. Pp. 157–185.

11. Essawy M.A., Zalata A.A., Makroum F. Hadrabia Banded Iron Formation, Eastern Desert, Egypt // *Egypt. Min*. 1980. Vol. 9. Pp. 147–168.

12. Савко К.А., Базиков Н.С., Артеменко Г.В. Геохимическая эволюция железисто-кремнистых формаций Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии: источники вещества и геохронологические ограничения // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2015. Т. 23. № 5. С. 3–21.

13. Derry L.A., Jacobsen S.B. The chemical evolution of Precambrian seawater: Evidence from REEs in banded iron formations // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1999. Vol. 54. Pp. 2965–2977.

14. Krapez B., Barley M.E., Pickard A.L. Hydrothermal and resedimented origin of the precursor sediments to banded iron formation: sedimentological evidence from the Early Palaeoproterozoic Brockmann Supersquence of Western Australia // *Sedimentology*. 2003. Vol. 50. Pp. 979–1011.

15. Holland H.D. The oceans, a possible source of iron-formations // *Economic Geology*. 1973. Vol. 68. Pp. 1169–1172.

16. El Aref M.M., El Doudgdoug A., Abdel Wahed M., El Manawi A.W. Diagenetic and metamorphic history of Umm Nar BIF, Eastern Desert, Egypt // *Mineral. Deposita*. 1993. Vol. 28. Pp. 264–278.

Для цитирования

Шарафелдин Х.Э., Верчеба А.А. Перспективы золотоносности железисто-кремнистой формации Египта и Курской магнитной аномалии // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2019. Т. 20. № 2. С. 174–183. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-174-183>

Perspective of gold-bearing deposits in the ferruginous-siliceous formations of Egypt and Kursk Magnetic Anomaly

Hani E. Sharafeldin, Alexander A. Vercheba

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation

Article history:

Received: January 16, 2019

Revised: March 13, 2019

Accepted: March 25, 2019

Keywords:

banded ferruginous-siliceous formation; Eastern Desert of Egypt; Arabian-Nubian Shield; Kursk Magnetic Anomaly; gold mineralization; Neoproterozoic; volcano-genic-sedimentary rocks; gold-quartz-sulphide type of ore

Banded ferruginous-siliceous formations (FSF) are confined to the Precambrian basement of the Arabian-Nubian Shield within the central part of the Eastern Desert of Egypt. Gold mineralization is spatially associated with banded ferruginous quartzite, representing one of the most ancient manifestations of gold ore. The Precambrian rocks are combined into deposits complex of the Neoproterozoic Pan-African megacycle of the territory development. Banded iron-silicate rocks occur in sedimentary-volcanogenic rocks that were formed in the subduction trough zones, and are represented by metamorphosed ferruginous quartzites, jaspilites and schists. FSF show tectonic dislocations, shear cracks, and fracture cracks made by gold-quartz-sulphide mineralization. Promising for the identification of gold-bearing mineralization in the rocks of the FSF can be iron-silicate deposits with the occurrence of epigenetic hydrothermal activity as a result of activation of the submarine volcanism of the tholeiitic type.

References

- Li ZQ, Zhang LC, Xue CJ, Zheng MT, Zhu MT, Robbins LJ, Slack JF, Planavsky NJ, Konhauser KO. Earth's youngest banded iron formation implies ferruginous conditions in the Early Cambrian Ocean. *Scientific reports*. 2018;8(1): 9970. Available from: doi: 10.1038/s41598-018-28187-2.
- Gross GA, Mcleod CR. A preliminary assessment of the chemical composition of iron formations in Canada. *The Canadian Mineralogist*. 1997;(18): 223–229.
- Kushnerenko VK. Dokembriiskie metallonosnye konglomeraty KMA. Voronezhskii kristallicheskii massiv [Precambrian metal-bearing conglomerates KMA. Voronezh crystalline massif]. *Materials on the geology of deposits of uranium and rare earth metals: information collection*. 2011;(157): 117–121. (In Russ.)
- Savko AD, Shevryov LT. Zhelezisto-kremnistye formatsii kontinentov – novye istoriko-mineralogicheskie dannye o raspredelenii, vozraste, genezise [Ferruginous-siliceous formations of continents – new historical and mineralogical data on distribution, age, genesis]. *Bulletin of VSU. Series: Geology*. 2017;(3): 5–17. (In Russ.)
- Dardir AA. *States and futures development of iron and steel industry in Egypt*. Internal report of Geological Survey and Mineral Authority. Egypt; 1990. p. 22.
- Sims PK, James HL. Banded iron ore formation of late Proterozoic age in the CED, Egypt: geological and tectonic setting. *Econ. Geol.* 1984;(79): 1777–1784.
- Khalil KI, El-Shazly AK. Petrological and geochemical characteristics of Egyptian banded iron formations: review and new data from Wadi Kareim. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2012;(2): 105–126.
- El Gaby S, List FK, Tehrani R. The basement complex of the Eastern Desert and Sinai. In: Rushdi S. (ed.) *The Geology of Egypt*. Rotterdam: Balkema; 1990. pp. 175–184
- Onikienko LD, Malykh VM, Salem I. Sravnitel'naya kharakteristika yashmovidnykh zhelezistykh kvartsitov iz mestorozhdenii YuMA, Krivogo Roga i Vostochnoi pustyni Egipta [Comparative characteristics of Jasper-shaped ferruginous quartzites from the deposits of YUMA, Krivoy Rog and the Eastern Desert of Egypt]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher School. Geology and Exploration]*. 1988;(6): 37–44. (In Russ.)
- Takla MA, Hamimi Z, Hassanein SM, Kaoud NN. Characterization and genesis of the BIF associating arc metavolcanics, Umm Ghamis area, Central Eastern Desert, Egypt. *Egypt. Mineral.* 1999;(11): 157–185.
- Essawy MA, Zalata AA, Makroum F. Hadrabia Banded Iron Formation, Eastern Desert, Egypt. *Egypt. Mineral.* 1980;(9): 147–168.
- Savko KA, Bazikov NS, Artemenko GV. Geokhimicheskaya evolyutsiya zhelezisto-kremnistykh formatsii Voronezhskogo kristallicheskogo massiva v rannem

Hani Elsayed Sharafeldin – postgraduate student of the Department of Geology of Mineral Deposits; hanisharfeldin@gmail.com
Alexander A. Vercheba – Dean of the Geological Prospecting Faculty, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences.

dokembrii: istochniki veshchestva i geokhronologicheskie ogranicheniya [Geochemical evolution of ferruginous-siliceous formations of the Voronezh crystalline massif in early Precambrian: sources of matter and geochronological limitations]. *Stratigraphy Geological Correlation*. 2015;23(5): 3–21.

13. Derry LA, Jacobsen SB. The chemical evolution of Precambrian seawater: Evidence from REEs in banded iron formations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1999;(54): 2965–2977.

14. Krapez B, Barley ME, Pickard AL. Hydrothermal and resedimented origin of the precursor sediments to banded iron formation: sedimentological evidence from the Early Palaeoproterozoic Brockmann Supersequence of Western Australia. *Sedimentology*. 2003;(50): 979–1011.

15. Holland HD. The oceans, a possible source of iron-formations. *Economic Geology*. 1973;(68): 1169–1172.

16. El Aref MM, El Doudgdoug A, Abdel Wahed M, El Manawi AW. Diagenetic and metamorphic history of Umm Nar BIF, Eastern Desert, Egypt. *Mineral. Deposita*. 1993;(28): 264–278.

For citation

Sharafeldin HE, Vercheba AA. Perspective of gold-bearing deposits in the ferruginous-siliceous formations of Egypt and Kursk Magnetic Anomaly. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(2): 174–183. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-174-183>. (In Russ.)