

**ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫЕ ФОРМАЦИИ КОНТИНЕНТОВ –
НОВЫЕ ИСТОРИКО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
О РАСПРОСТРАНЕНИИ, ВОЗРАСТЕ, ГЕНЕЗИСЕ.**

Статья 1. Осадочные бассейны с ЖКФ

А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 10 августа 2017 г.

Аннотация: железисто-кремнистые формации (ЖКФ), основной источник минерального сырья черной металлургии, остаются объектом пристального внимания исследователей. В Африке, Южной Америке, Антарктиде, Китае, эрозионных окнах среди каледонид Скандинавии открывают все новые площади их развития со значительными промышленными ресурсами. Новые радиоизотопные, химические данные, прямые геологические наблюдения меняют представления о возрастных рамках, палеогеографии, климатических условиях, параметрах отдельных бассейнов, появлении и исчезновении ЖКФ из геологических разрезов. Дискутируются схемы, согласно которым ЖКФ относились к трем основным типам: Альгома (преимущественно архей, большой вклад вулканогенных процессов), Сьюперior (нижний протерозой, без участия вулканогенного фактора), Рапитан (верхний протерозой, ледниковые условия седиментогенеза). Между тем, среди нижнепротерозойских ЖКФ бассейна Хамерсли (тип Сьюперior), который часто сравнивают с КМА по возрасту и стилю формирования, обнаружены значительные толщи туфов. Для верхнепротерозойских ЖКФ Египта («ледниковый» тип Рапитан) описаны признаки неледникового генезиса. Корректируются представления и о падении продуктивности ЖКФ к финальным фазам докембрия. Так только разведанные и оцененные запасы богатых железных неопротерозойского Эль Мутун в Боливии (40 млрд т) заметно превосходят этот показатель для всего бассейна КМА (65 месторождений, 25 млрд т разведанных запасов). Стало известно, накопление ЖКФ было заметным явлением и палеозоя (Уругвай, Чили, Ангола, Китай и т. д.). Так, ресурсы Fe руд только Южно-Кимканского месторождения (С₁), одного из нескольких в ЕАО, до глубины 500 м определены в 3,1 млрд т. Открыты и более поздние аккумуляции (каменноугольное Томортолгой, Монголия). В настоящей первой статье характеризуются современные данные о распространении ЖКФ на континентах Земли, приведена аргументация, касающаяся их возраста. Генетические аспекты предполагается рассмотреть в следующей работе.

Ключевые слова: железисто-кремнистые формации, джеспилиты, альгомаиты, сьюпериты, рапитаниты, геологический возраст, мощности отложений, Лабрадорский трог, КМА, Кривбасс.

FERRUGENOUS-SILICIOUS FORMATIONS (FSF) OF CONTINENTS – NEW HISTORICAL-MINERAGENICAL DATA ON DISTRIBUTION, AGE, PROVENANCE. Paper 1. Sedimentary basins with FSF

Abstract: ferruginous–siliceous formations (FCF) as the main source of mineral raw materials for steel metallurgy remain the object of attention of researchers. In Africa, Antarctica, China, erosion windows among the caledonides of Scandinavia open up new promising areas with significant industrial resources. A new radioisotope and chemical data, direct geological observations changed ideas about the age framework, paleogeography, climatic conditions, specificity, parameters of the individual basins, the appearance and disappearance of FCF in the geological sections. Are discussed the scheme under which FCF refer only to three major types: Algoma (mainly Archean, a large contribution of volcanic processes), Superior (Lower Proterozoic, without the participation of the volcanogenic factor), Rapitan (Vendian, glacial conditions of sedimentation). Among Lower Proterozoic FCF Hamersley basin (type Superior), which is compared with KMA in age and style of the formation, encountered significant thickness of tephra. Neoproterozoic FCFs of Egypt (type Rapitan) carry all signs of non-glacial genesis and may be

unrelated to the latter. There is on correction a dominant conception of the fall of productivity FCF to the final phases of the Precambrian. So only the proven and estimated reserves of rich iron ores of Vendian El Mutun in Bolivia (40 billion tons) significantly exceeds the same indicator for the whole basin KMA (65 developed and in reserve deposits, 25 billion tons). FCF accumulation continued into the Paleozoic (Uruguay, Chile, Angola, China), etc. So Fe ore resources to a depth of 500 metres only South-Kimkansky Deposit (€₁), one of several ones in the Jewish Autonomous oblast', are determined at 3.1 billion tons. Discovered also and later accumulations (Carboniferous one Tomortolgoi, Mongolia etc.). In the first present article will be described the actual data on the distribution FSF on the continents of the Earth, given the arguments concerning their age. Genetic aspects will be considered in the following paper.

Key words: ferruginous-silicious formations, jaspilites, algomaits, superiorities, rapitanites, geological age, thickness of deposits, Labrador trough, KMA, Krivbass.

Происхождению и генезису ЖКФ посвятили выдающиеся работы многие отечественные авторы [1, 2 и др.]. В связи с большим экономическим значением они и ныне находятся в фокусе мирового научного сообщества [3–13 и др.]. Интересная дискуссия о происхождении ЖКФ недавно прошла в журнале «Economic Geology» [7–9]. Её основные участники Андрей Беккер (Andrey Bekker, университет Манитобы) и Алек Трендалл (Alec F. Trendall, Геологическая служба Западной Австралии) пришли к мнению: не смотря на все усилия, многие геологические проблемы становления ЖКФ корректно решить не удалось. Тем не менее, поиски связанных с ними объектов продолжаются. Нынешнее состояние знаний об их развитии на континентах Земли отражает рис. 1.

ЖКФ одни из древнейших образований. Уже в основании разреза формации Готхоб (Godthåb) на СЗ Гренландии стратиформные магнетит-грюнерит-сидеритовые руды с вкрапленностью сульфидов залегают среди коматитов, амфиболитов, кварцитов, ультрамафитов, углеродсодержащих пород с датами 3,87–3,80 млрд лет. В архейской части разреза щита **Карнатака** на юго-востоке Индостана зерна магнитного железняка глубинных чарнокитов (3,8 млрд лет) сохранили признаки первичной зональности: нитевидные зонки, обогащенные Fe или Si [11]. Их ориентированность по полосчатости интерпретируют в пользу первично-осадочного происхождения как результат субмаринного переотложения вещества кор выветривания по базитам примыкавшей суши [12]. Появление подобных образований разных масштабов отмечают во многих подразделениях палеозоя.

Породы ЖКФ характеризуют терминами-синонимами – железистые кварциты, джеспилиты, железистые роговики. По региональным особенностям выделяют «итабириты» (Минас Жераис, низкое содержание мусковита, почти полное отсутствие силикатов), «такониты» (трог Лабрадор, с микрогранулярной слоистой текстурой, до 25–35 % Fe, обильные силикаты), «итабириты сланцевого типа» (Либерия) и т. д. В названных определениях перечислены основные компоненты (Fe, Si), однако следующий синоним напоминает о не менее (а то и более) важном генетическом признаке – полосчатости: ЖКФ это «полосчатые железистые формации» (Banded Iron Formations, BIF). Почему генетическом? Если «железистые роговики», «яшмоиды» можно обнаружить во многих районах с

выраженным магматизмом фанерозоя, то разновозрастные *полосчатые* ЖКФ – затруднительно. «Тонкополосчатые» ЖКФ оказываются свойственными почти исключительно раннему докембрию. Слойки мощностью в миллиметры в ЖКФ бассейна Хамерсли (кратон Пилбара) прослеживают по разрезам на площади в 50 тыс. км². Их удивительную повторяемость связывают с хемогенным накоплением в определенные интервалы суток или сезонов [13, 14].

Химические и изотопные составы джеспилитов во времени эволюционировали, что позволяет различать среди них, как минимум, «альгомаиты» (преимущественно архейские), «сьюпериты» (верхи архея – нижний протерозой), «рапитаниты» (верхний протерозой).

1. Архей – время альгомаитов

Альгомаиты (рис. 2) перемежаются в разрезах архейских зеленокаменных поясов с подводными основными – кислыми вулканитами, вулканокластическими граувакками, глинистыми сланцами. Однако иногда присутствуют и среди нижнепротерозойских образований, например, в **Вади Сававим** (Wadi Sawawin), Саудовская Аравия. Возрасты альгомаитов определяют в интервале от эоархея до завершения палеопротерозоя (4,0–1,6 млрд лет) с максимумом в мезо- и неоархее.

Наблюдаемые ныне залежи альгомаитов в штате Миннесота США и провинции Онтарио Северной Америки (рис. 2, в), в которых описан литотип, невелики. Их линзы редко имеют мощности более 50 м и протяженность более 10 км по простиранию. Однако это не признак того, что залежи изначально были меньше сьюперитовых. Из-за тектонических деформаций реконструкции первоначальных масштабов этих образований затруднены, но не окончательно невозможны. Первичные глубины моря и вариации Eh/pH условий приводили к появлению фаций оксидной, силикатной, сульфидной, карбонатной, находящихся в определенных соотношениях с контурами бассейнов. И это уже путь к палеофациальным реконструкциям. По более тысячи химическим анализам альгомаитов Канадского щита (округ Альгома, пров. Онтарио) установили: содержания большинства рассеянных элементов в них находится на уровне кларка или даже ниже. В целом по валовым химическим составам альгомаиты и обычно более молодые по

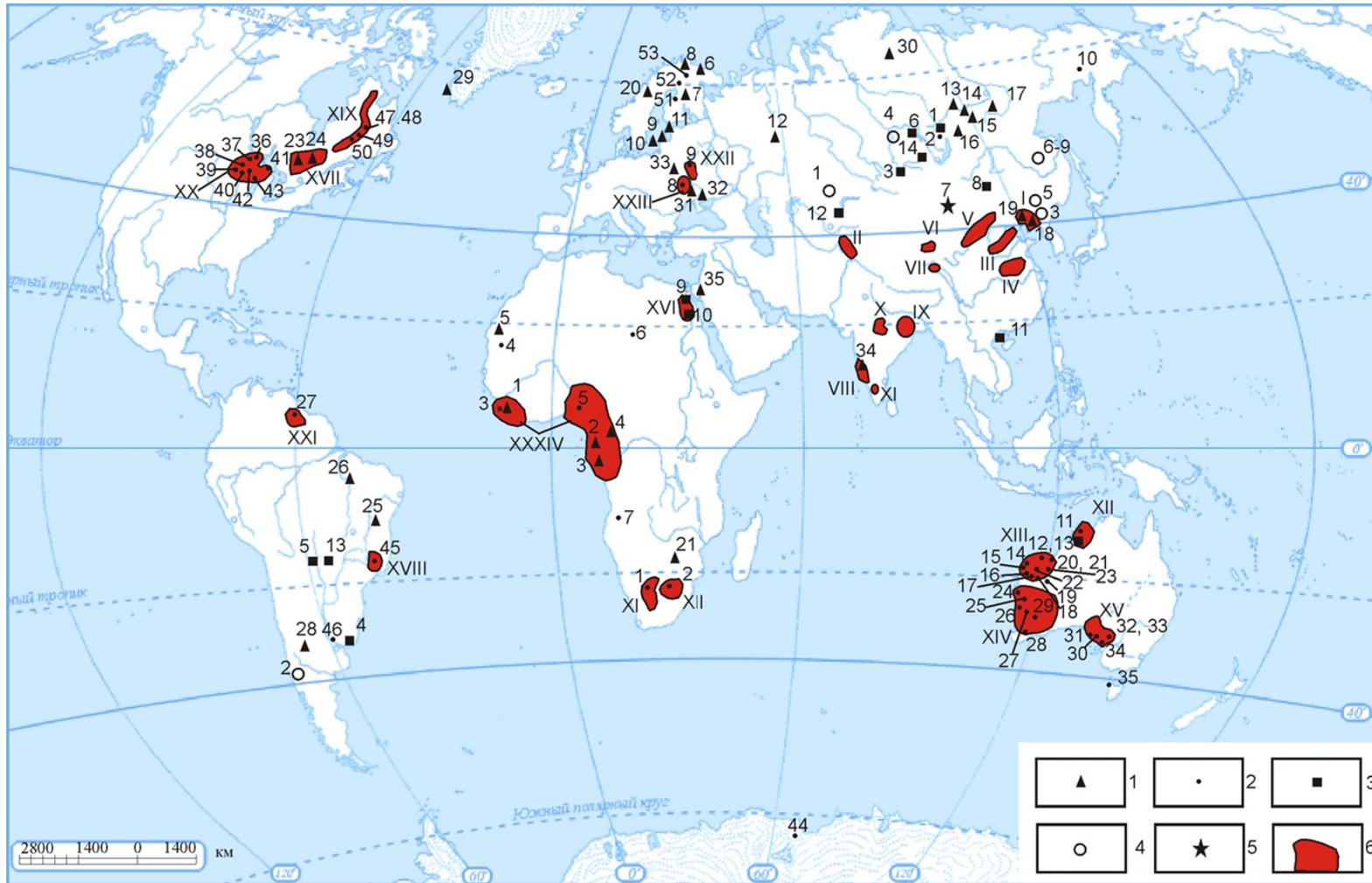


Рис. 1. Гетерохронные железисто-кремнистые формации на континентах Земли. Основные промышленные и потенциально промышленные железорудные бассейны с BIF: I-VII – Китай, в т.ч.: I – Ляонин-Цилинь-Хейлунцзян (Lioning-Jilin-Heilongjiang), II – Западный Каракорум (W. Korum), III – Севера Китайского кратона (North China Craton), IV – Центральной части Китайского кратона (Central North China Craton), V – Северо-запада Китайского кратона и Хингана (NW China craton & Hing'an), VI – Цилян (Qilian), VII – Восточный Куньлунь (E. Kunlun); VIII-XI – Индостана, в т.ч.: VIII – Карнатака-Гоа (AR); IX – Сингхбум (штаты Бихар, Джарханд, Ориша, PR₁), X – Мадхья-Прадеш (юг, PR₁), XI – Тамил-Наду; XII-XV – Австралии, в т.ч.: XII – бассейна Кимберли (Kimberley); XIII – кратона Пилбара (Pilbara); XIV – кратона Йилгарн (Yilgarn); XV – кратона Гоулер (Gawler); XVI – Восточного Египта; XVII – пояса Абитибиде, Онтарио, Канада; XVIII – Железного Четырехугольника (Quadrilátero Ferrífero), Бразилия; XIX – трога Лабрадор (Labrador), Канада; XX – Сьюпериор; XXI – Железный четырехугольник штата Боливар (Bolivariana de hierro cuadrilátero), Венесуэла; XXII – КМА; XXIII – Кривбасс; XXIV – Западной Африки. 1 – 5 – основные рудные районы, узлы и крупнейшие месторождения с BIF, №№ по Базе данных Кафедры исторической геологии ВГУ, в т.ч.: 1 – архейские BIF, тип Альгома (Algoa); 2 – BIF типа озера Верхнего (Сьюпериор); 3 – неопротерозойские BIF; 4 – нижнепалеозойские BIF; 5 – среднепалеозойские BIF; 6 – железорудные бассейны.

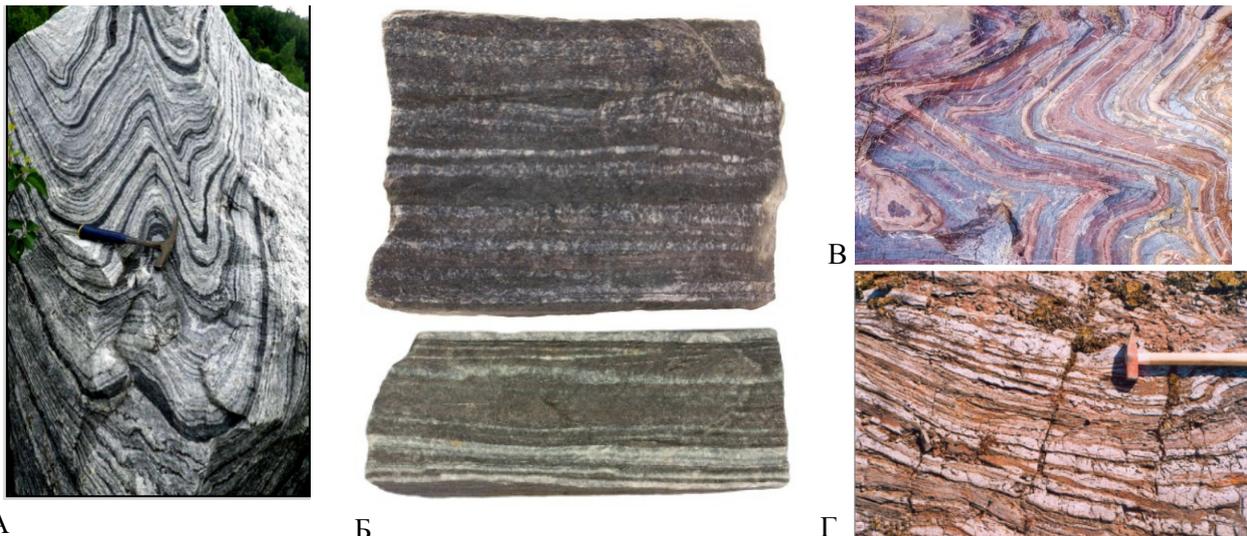


Рис. 2. Архейские альгомаиты: А - тараташский комплекс Челябинской области. Гнейсы и кварцито-гнейсы, магнетит-биотитовые и магнетит-амфиболовые, радашной толщи месторождения **Радостное**, Фото Ю. Д. Гриценко. Из работы Ал. В. Тевелева и др. [3]; Б - железистые кварциты **Бьёрневати** (Bjørnevatten), Северная Норвегия. Верхний образец имеет ширину 12, нижний – 9 см. http://lh3.googleusercontent.com/-w16h3gEmrm4/Vf0QoCoSnEI/AAAAAAAAALXg/s_rfkR_H-I/s720/1692%25252008.08.15_2%252520BIF%252520iron%252520ore%252520magnetite%2525209%252520cm.jpg; В – то же рудника Соудан (Soudan), Миннесота, США (2,7 млрд лет, https://news.wisc.edu/story_images/10623/large/Minnesota.JPG?1435256942); Г – архейские, Северная Швеция, кварц-грюнерит-магнетитовые альгомаиты золотого месторождения **Фёболиден** (Fäboliden), первичной мезо- и тонкой слоистостью, подчеркнутую поверхностями рассланцевания [4, fig. 4].

возрасту сьюпериты неразличимы. И в тех и других – 55 % SiO₂, 20-35 % Fe и очень мало Al₂O₃ (обычно < 2 вес. %), признак небольшого поступления вещества с суши. Рассеянные элементы связаны с вулканическими эксгальциями. Для альгомаитов типичны значительные положительные аномалии Eu (> 1,8) и отрицательные по Се. Иногда отмечают несколько процентов Mn, Ba, Co (> 100 г/т), Ni, Cu, Cr, As, Sr. Однако есть и очень важное исключение – Au, концентрации которого повышены иногда на порядок, от мг/т до сотых г/т [5, 15].

В Китае альгомаиты отрабатывают на площади Северокитайской платформы, где они входят в состав группы Утай. В работах, специально посвященных датированию пород группы Утай (Wutai) с ЖКФ [16–19], было показано, что образования ее нижней, средней и верхней подгрупп примерно разновозрастные. Восемь U-Pb SHRIMP определений для цирконов из вулканитов от фельзического до среднего составов всех трех подгрупп варьировали в узком интервале от 2533±8 млн лет до 2513±8 млн лет, обеспечивая средневзвешенный возраст 2523±млн лет [18].

Mingguo Zhai et Brian F Windley [19] выделили четыре основные раннедокембрийские металлогенические провинции в северном Китае с архейскими и раннепротерозойскими залежами среди ЖКФ, см. рис. 1: 1 – Аньшань на северо-востоке; 2 – восток пров. Хэбэй (Hebei); 3 – Утай, обе на севере; 4 – Цзилинг (Qingling), или Денфень-Тайхуа (Dengfeng-Taihua) на южном краю.

В «Железном четырехугольнике штата Боливар», Венесуэла, комплекс Иматака сложен фельзическими (светлоокрашенными) преимущественно полевошпат-

кварцевыми гранулитами, в разной степени мигматизированными орто- и парагнейсами, локально анатектическими гранитоидами. Гнейсы, гранулиты проявляют вариации составов преимущественно в поле средних-основных пород. Парагнейсы включают подчиненные по объему прослои доломитовых мраморов, джеспилитов. С последними связаны крупнейшие скопления железных руд типа Альгома. Основным протолитом комплекса Иматака, как предполагают, являлась магматическая известково-щелочная серия. Однако помимо безусловно первично магматических гранитных ортогнейсов, судя по недостаточным связям между малоподвижными элементами средних-основных литотипов, в разрезах Иматака присутствуют, а возможно, и преобладают, метаморфизованные химические и кластические осадки, происходящие из более древних гранит-базальтовых (зеленокаменных) толщ. Породы комплекса Иматака в Трансамазонскую орогению (метаморфизм при T =750–800°C, P = 6–8 кбар) интродуцированы несколькими гранитными плутонами. Плутон Энкрусихада (Encrucijada) внедрился в породы комплекса Иматака 2110 ± 87 млн лет назад (Rb-Sr изохронный для всей породы), вмещающие парагнейсы датированы 2900 млн лет. Время метаморфизма амфиболовой высоких ступеней и гранулитовой фаций пород комплекса Иматака (Трансамазонская орогения) – 2 млрд лет (⁴⁰Ar/³⁹Ar плато). Rb/Sr и Pb/Pb даты 1970-х годов указывали на возраст протолита комплекса Иматака минимально 3,1 млрд лет, а максимально – 3,4–3,7 млрд лет. Отмечались и признаки ранней переработки пород комплекса на уровне 2,8 млрд лет для глубокометаморфизованных мигматитов. Colombo C. G. Tassinari et al. [20] использовали

для датирования SHRIMP разновидность U/Pb метода по цирконам. Осцилляционно-зональные цирконы одного из образцов указали на $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ даты 3229 ± 39 и 3036 ± 9 млн лет.

Район **Каражас** на Амазонском кратоне Бразилии (рис. 1) тоже известен архейскими джеспилитами. Все они сильно обеднены Al, щелочными и щелочноземельными элементами. Наблюдаемые аномалии V, Ti, Cu, Zr слабые (для полосчатых ЖКФ озера Верхнего и альгомаитов Канады они оцениваются как средние). Породы рудных тел отмечены небольшой позитивной аномалией по Eu. Формирование архейских джеспилитов **Каражас** (даты 2,65, 2,7 млрд лет) объясняют [21] классической химической гипотезой – выпадением железистых и кремнистых осадков из поступающих с суши растворов переменного состава при участии гидротермальных флюидов, связанных с нижегочисленными магматическим (базальтовым) очагом. Многочисленные рудные объекты ЖКФ, отрабатывают на западе Африки. В Либерии они ассоциируют с метавулкано-осадочными образованиями, перекрывающими фундамент и вместе с ним подвергшимися складчатости.

Наиболее древние породы в Габоне и ДР Конго датированы 3,13–2,6 млрд лет. Они переработаны метаморфизмом средней и высокой ступеней, типичных для гранито-гнейсового и зеленокаменного террейна Дю Шэлю. Железные руды последнего, видимо, мезоархейские. На площади **Белинга** выходы альгомаитов образуют серию меридиональных гряд с отрогами, ветвящимися в разных направлениях на площади 35 км x 10 км. В Мавритании на архейском щите Регибат (Regueibat, Reguibat) протяженностью около 1,4 тыс. км при ширине около 49 км крупные гематитовые аккумуляции открыты в районе **Кедия д'Иджил** (Kedia d'Idjil), горы Гельбы (Guelbs) [22].

В эрозионных окнах среди каледонид СЗ обрамления Балтийского щита Скандинавии (к югу от г. Киркенес, Северная Норвегия) на площади 35 км² верхнеархейские альгомаиты образуют группу **Сюдварангер** (Sydvaranger) из 23 месторождений: **Бьёрневанн** (Bjornevann, Bjørnevann, рис. 2,б), **Кьельманнсёсен** (Kjellmannsåsen), **Ерттопен** (Jertoppen), **Хютте-малмен** (Huttemalmen), **Состеванн** (Søstervann), **Грундтьерн** (Grundtjern) и др.

В Северной Швеции месторождения «Золотой Линии» на ЮЗ рудного района Шеллефте (Skellefte) – **Свартлиден** (Svartliden), **Фёболиден** (Fäboliden) и др., – приурочены к альгомаитам, рис. 2, г. [15]. Хорошо выражены фации ЖКФ карбонатная, сульфидная с собственными комплексами минералов.

Архейскими являются объекты железорудных районов: **Белозерского** в Запорожской области (**Северо-Белозерское**, **Южно-Белозерское**, **Переверзевское** (запасы 0,7 млрд т, 60,6 % Fe); **Приазовского**, Запорожская, Донецкая области (**Васиновское**, **Куксунгурское**, **Гуляйпольское**, **Мариупольское**, неархейские, промышленные запасы 2958,8 млн т при среднем содержании железа 27,6%), **Околовское**,

Минская область. В Прибалтике к типу Альгома относят ЖКФ месторождений **Стайцеле**, **Гарсене** (Латвия), **Гарсенское** (Литва), **Йыхвинское** (Эстония).

Приведем данные и о возрасте некоторых отечественных альгомаитов. Железистые кварциты среди гнейсов (лептитов) оленегорской свиты неорархея (**Оленегорский** рудный район), датированы 2760 ± 7 млн лет, U-Pb [23, с. 26, 27]. Модельный возраст Pb галенита из железных руд – около 2,8 млрд лет [24, с. 191]. Магнетитовые кварциты и мигматиты Тараташского комплекса Челябинской области (рис. 2, А) формировались 2915 млн лет назад, но могут быть и раннепротерозойскими [7]. Биотит-магнетитовые, рибекит-магнетитовые, грюнерит-магнетитовые джеспилиты **Костомукши**, Карелия, по изотопному соотношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ появились около 2,7 млрд лет назад [24, с. 48–50]. Пласты амфибол-магнетитовых железных руд михайловской серии КМА датированы 3128 ± 23 , 3264 ± 54 млн лет [25].

2. Нижний протерозой. Сьюпериты

Получившие наименование от района озера Верхнего (Superior), ЖКФ с рудами этого типа отрабатываются в Северной Америке, Африке, Австралии, Евразии (рис. 3). Вулканы иногда присутствуют (Туфовый горизонт **Хамерсли**), но их немного и без прямых связей с центрами извержений. Протолиты сьюперитов отлагались в условиях очень медленных плавных тектонических (эпейрогенических) движений близ или несколько выше зоны волнового воздействия в пределах морского мелководья континентальных окраин. В других случаях они накопились во внебереговых линейных поясах, параллельным континентальным окраинам.

Возраст сьюперитов почти повсеместно находится в интервале 2,7–1,9 млн лет. «Для курской серии нижняя возрастная граница определяется по возрасту подстилающих ее на некоторых участках микроклинкварцевых порфиров лебединской серии, который изохронным U-Pb методом по цирконам определен в 2680 ± 100 млн лет. Верхняя возрастная граница курской серии, разрез которой заканчивается железисто-кремнистыми породами коробковской свиты, может быть определена по возрасту цирконов из кислых эффузивов перекрывающей ее оскольской серии, установленному термоэмиссионным методом ориентировочно 2310 млн лет [26]».

В **Кривбассе** на площади 85 км x 0,5–7,0 км саксанская свита криворожской серии мощностью 1,3–1,4 км, залегающая без перерыва на скелеватской свите, включает до семи сланцевых и семи железистых горизонтов. Даты для пород криворожской серии определяют в интервале 2,7–2,1 млрд лет [1].

Сьюпериты характеризуются небольшими положительными или отрицательными аномалиями по Eu. Месторождение **Кайе** (Cauié) в районе Итабира, Бразилия, одно из немногих в Мире, вмещающих скопления золота, что более свойственно альгомаитам. К наиболее значительным, помимо **КМА**, **Кривбасса**,

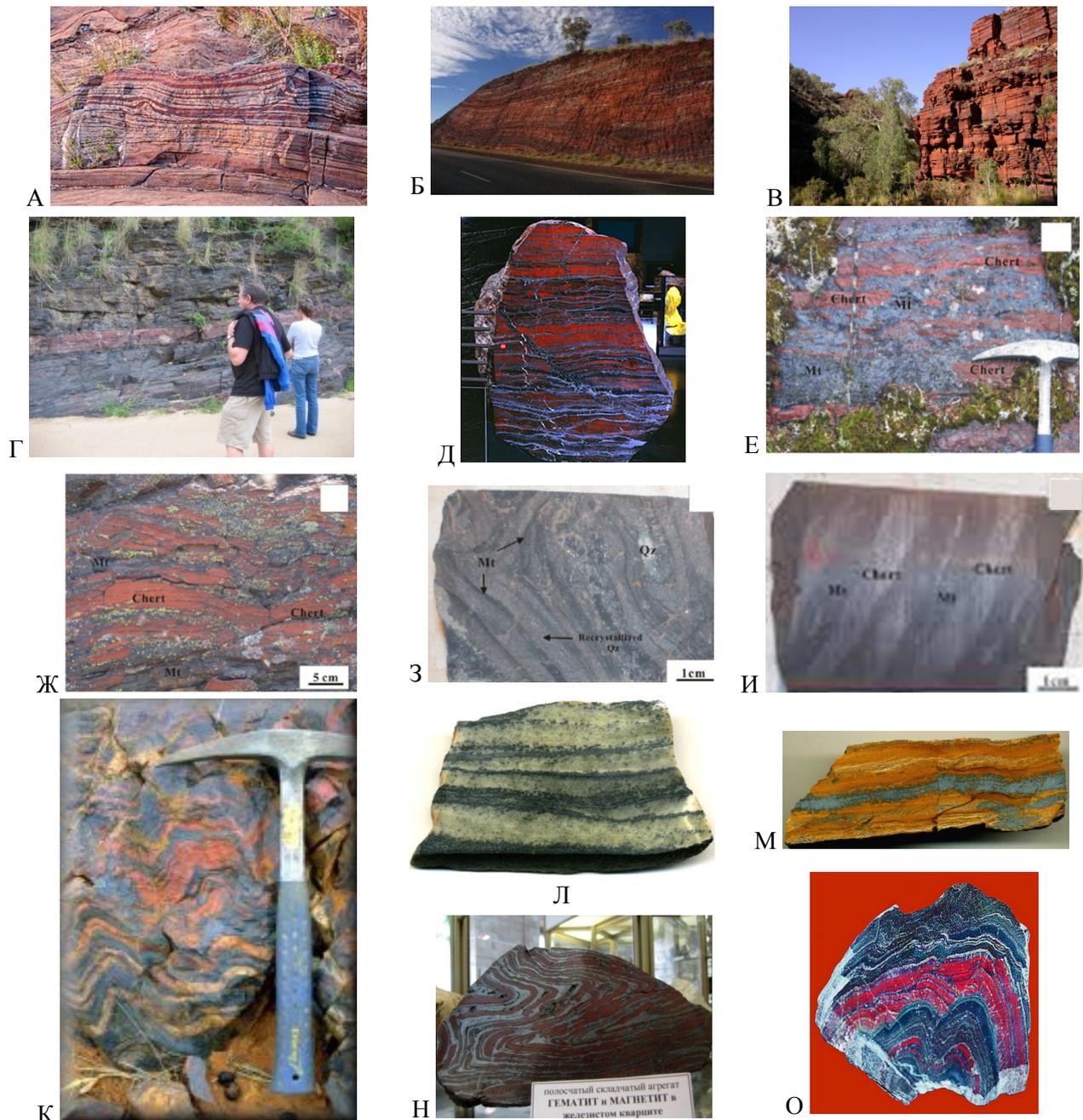


Рис. 3. Нижнепротерозойские сьюперии: А – В – бассейна Хамерсли (кратон Пилбара), Западная Австралия (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/25/Banded_iron_formation_Dales_Gorge.jpg/300px-Banded_iron_formation_Dales_Gorge.jpg http://heihachi.eu/images/science/banded_iron_formation.jpg); Г – р. Умфолози (Umfolozi), пров. Квазулу–Наталь (KwaZulu-Natal), ЮАР, Д – ВИФ пров. Онтарио, Канада. (https://www.learner.org/courses/envsci/visual/img_lrg/branded_iron.jpg), Е–И – классические такониты формации Сокоман (1870+50 млн лет), Лабрадорский трог, Канада, в т. ч.: Е – подситы Верхний Красный Кремень, Средняя Железорудная толща, Ж – подситы Нижний Красный Кремень, Средняя Железорудная толща, З – керн, сложенный магнетитом и перекристаллизованным кварцем, И – керн, сложенный магнетитом и полосами белого кремня (сокращения: Mt — магнетит, Qz – кварц, https://lh3.googleusercontent.com/d0_SMLkUjZSL9qTb41we0_M1pJhA7xpd2ZQ-RGA6aMR-iYswpaRKlg7_PzI1cUOSk9IcPs=s117;K-M – сьюперии Южной Австралии (кратон Гоултер), в т. ч.: К – месторождения Уилгена Хилл (Wilgena Hill), район Мидлбэк Рэйджис (Middleback Ranges), Южная Австралия. По [27], Л – палеопротерозойской железорудной формации Лауэ Мидлбэк (Lower Middleback), субгруппа Мидлбэк (Middleback), группа Хатчинсон (Hutchinson), размер образца 8,4 см по наибольшей ширине). Светло-серое кварц, темно-серое гематит; М – джеспилит нижнепротерозойской формации Лауэ Мидлбэк (Lower Middleback), измененный. Оранжево-коричневое – кварц в смеси с лимонитом, серебристо-серое – гематит <http://www1.newark.ohio-state.edu/Professional/OSU/Faculty/jstjohn/BIFs/LowerMiddlebackFeFm1.jpg>; <http://www1.newark.ohio-state.edu/Professional/OSU/Faculty/jstjohn/BIFs/LowerMiddlebackFeFm2.jpg>; Н – джеспилиты курской серии КМА https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTV5ZhwCNvTQ4XKe_JvtHUV75jG07ZGgtMxJmXXWbg4zDrQlhy; О – то же криворожской серии Кривбасца <https://www.photoukraine.com/photos/130351.jpg>

Хамерсли, в Мире относят скопления сьюперитов супергруппы Трансвааль в ЮАР, несколько меньшим – штата Орисса в Индии, кряжа Месаби на севере штата Миннесота в США (формация Бивабик, *Biwabik*).

Выдающиеся аккумуляции неоархейских-палеопротерозойских сьюперитов бассейна **Хамерсли** (рис. 3, А-В) на кратоне Пилбара (1,1 тыс. км северо-западной Перта) занимают площадь 600 x 350 км (рис. 1). Его возраст определяют в 2765–2470 млн лет. В первом квартале 2010 г. доказанные и вероятные резервы действующих горных производств компании Rio Tinto оценивались в 3344 млн т промышленной руды [27].

Продуктивные залежи приурочены к группе Хамерсли супергруппы Маунт Брюс (*Mount Bruce*), представленной чередованием железистых и сланцевых формаций, из которых пять железистых имеют общую мощность 1145 м. Указывают [28] для песчаников группы Хамерсли время накопления в субмеридионально ориентированных полуграбенах между 2770 и 2715 млн лет.

О замечательной стабильности кратона Пилбара говорит тот факт, что силикокластиты даже с возрастом 3250–2750 млн лет здесь никогда не подвергались значительным гидротермальным изменениям. Их тяжелые минералы имеют определенно кластогенное (детрит) происхождение. Среди последних чувствительные к колебаниям редокс-обстановки пирит, уранинит, герсдорфит, вкупе с более инертными цирконом, рутилом, хромитом, монацитом. Иногда содержания сидерита в тяжелой фракции достигают 90%. Его зерна сохранили признаки нескольких эпизодов эрозии, окатывания, дальнейшего аутигенного нарастания всего, из-за нестойкости в окислительной обстановке. Однако, он частый гость в хорошо перемешанных и, значит, хорошо аэрируемых, архейских речных осадках: воды архейских рек содержали немало органического вещества и были существенно менее окислительными, чем современные [29].

Подстилающие джеспилиты покровные базальты группы Фортеस्कью (*Fortescue*) имеют возраст от 2,78 млрд лет до 2,63 млрд лет [30]. Они перекрыли образования групп Хамерсли и Тюре (*Turee*) с минимальными датами 2,45 млрд лет.

Исследователей интригует туфовая пачка мощностью около 20 м, находящийся в разрезе группы Хамерсли между железорудными формациями Марра Мамба (*Marra Mamba*) и Брокмэн (*Brockman*). Этот так называемый Главный Туфовый интервал (МТИ), обогащенный зернами кварца, имеет возраст $2603 \pm 0,7$ млн лет.

С. McA. Powell et R. C. Horwitz [31] полагают, накопившиеся в бассейне Хамерсли примерно 2,5 млрд лет назад первично оксидные, с некоторым количеством силикатных и карбонатных образований, полосчатые ЖКФ изначально формировались на двух стратиграфических уровнях – нижнем формации Брокмэн и верхнем формации Марра Мамба. Геохи-

мически они изначально несколько различались. В рудах первой формации было втрое больше чем во второй фосфора, 0,1% против 0,035 %.

В штате Южная Австралия (см. рис. 1 и рис. 3, к-м) все железорудные объекты находятся в пределах кратона Гаулер (*Gowler*) и геосинклинали Аделаида (*Adelaide*). Массивные гематитовые породы распространены среди полосчатых ЖКФ района Мидлбэк Рэйндж (*Middleback Range*). Эти руды появились при супергенном обогащении железистых кварцитов с раннепротерозойским возрастом 1800–1650 млн лет.

В Канаде железорудный пояс Лабрадор с месторождениями сьюперитов-таконитов протянулся на 1,3 км в пределах извилистого в плане трога Отдельные горизонты железистых кварцитов формации Сокоман (*Sokoman*, рис. 3, д, е-и) супергруппы Каниапискау (*Kaniapiskau*) имеют мощность 60-165 м и прослежены на сотни км. Геол. ресурсы – около 45 млрд т, потенциальные – 7 млрд т. Содержания железа в богатых рудах – 51–66% [23, с. 61, 62]. Возраст железорудной формации Сокоман определен в докторской диссертации Btian J. Fryer [32] по 19 образцам пород, подстилающих и перекрывающих железорудные толщи площади Ноб Лэйк (*Knob Lake*): сланцы Аттикамаген (*Attikamagen*) внизу и сланцы Менихек (*Menihék*) вверху. Получена обобщенная изохронная дата 1879 ± 43 млн лет на основе соотношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7173$. Для сланцев Менихек (*Menihék*) дата – 1855 ± 74 , соотношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7033 \pm 0,0010$. Еще одно определение отсюда – 1870 ± 50 млн лет. Бескарбонатный сланец формации Аттикамаген (*Attikamagen*) датирован 1,9 млрд лет. Возраст первичных железных руд формации Сокоман принят 1870 ± 50 млн лет.

В нашем обзоре нельзя не затронуть и Африку. Полосчатые железорудные образования нижнего докембрия развиты в бассейнах: **Грикваленд Вест** (*Griqualand West*) и **Трансвааль**, см. рис. 1 и 3,г. Все они входят в состав супергруппы Трансвааль. Стратиграфическое положение и генезис этих замечательных месторождений постоянно уточняется. Ниже мы осветим эти проблемы, опираясь на свежие данные сотрудников университета Родес (*Rhodes*), г. Грэхэмстаун (*Grahamstown*), ЮАР [33]. В прошлом возраст вмещающих полосчатые железистые формации платформенных образований супергруппы Трансвааль Каапваальского кратона оценивали в 2,65–2,05 млрд лет, ныне он существенно уточнен. Эта работа особенно интересна насыщенностью радиологическими данными и более твердой привязкой основных железорудных уровней к стратиграфической шкале: полосчатые ЖКФ подгрупп Асбесхойвелс (*Asbesheuwels*) и Коэгас (*Koegas*) в железорудном бассейне Грикваленд формировались 2485–2482 млн лет назад. Подобные образования формации Пендж (*Penge*) бассейна Трансвааль – тогда же.

В Анголе наиболее древними железорудными образованиями являются нижнедокембрийские магнетит-гематитовые аккумуляции щита Касаи-Ангола, ассо-

цирующие с гранитогнейсами, кристаллическими сланцами, метавулканогенно-осадочными образованиями. Они древнее 2,1 млрд лет, так как прорваны габбро-анортозитами Кунене, имеющими эту дату. Основные объекты находятся в районе Кассинга (Cassinga), бассейн р. Кунене (Kunene), провинция Уэла (Huela).

3. Верхний протерозой. Рапитаниты

Рифейские ЖКФ широко представлены на всех континентах, рис. 4 [34–37 и др.]. В отдельных случаях с ними связаны промышленные месторождения Мирового уровня (Эль Мутун в Боливии). Большая часть этих объектов считают вендскими, одновозрастными одному из наиболее значительных оледенений в истории Земли. Некоторые авторы, напротив, связей между ЖКФ и ледниковыми условиями не находят [34, 38].

Гематитовые руды-рапитаниты впервые выявлены на приграничной площади между штатом Аляска, США, и канадской Территорией Юкон, где они формировались 750–725 млн лет назад [39] в ассоциации с ледниковыми толщами группы Рапитан. На каровом озере Танго (Tango) и южном склоне горы Харпер (Harper) темно-бордовые пелитолиты с эрратическими галькой (до валунов, см. рис. 4, А, Б) доломитов и вулканитов залегают в основании группы Рапитан. Они очень схожи по цвету, структуре, стратиграфической позиции с породами формации Саюней (Sayunei) группы Рапитан, описанными в горах Макензи. Брек-

чированные туфы мощностью около 1 м от зеленых до розовых, перекрывшие темно-бордовые диамиктиты, датированы $716,47 \pm 0,24$ млн лет, U/Pb, по цирконам (вариант ID–TIMS).

Вулканиты Плезант Крик (Pleasant Creek) обычны в валунах нижней половины разреза массивных диамиктитов. Их слои представлены фиолетовыми или красными тонкослоистыми пелитолитами и алевролитами, испещренными эрратическими доломитовыми гальками. Присутствуют также ограненные класты и валуны с бороздами, признаками гляциального генезиса. В верхних 15 м по мощности многочисленны слои ЖКФ примерно по 10 см каждый, в переслаивании со слоистыми диамиктитом, содержащими внеслоистые класты. Большинство последних представлено доломитами группы Фифтинмайл. На участках, где обнажен верхний контакт группы Рапитан, он перекрыт диамиктитом с хорошо сортированной карбонатной основной массой.

К рапитанитам относят огромные скопления джемпилитов Эль Мутун (El Cerro Mutún, см. рис. 4, в), юго-восточная Боливия. Многие источники называют Эль Мутун самым крупным в Мире железорудным месторождением с разведанными ресурсами 40 млрд т руды (на 10 млрд больше совокупных разведанных ресурсов КМА). При этом неизменно забывают, что прогнозные ресурсы неокисленных кварцитов КМА до глубины 700 м более 856 млрд т, богатых железных руд до глубины 1200 м – 82 млрд т (1984 г.) [40].

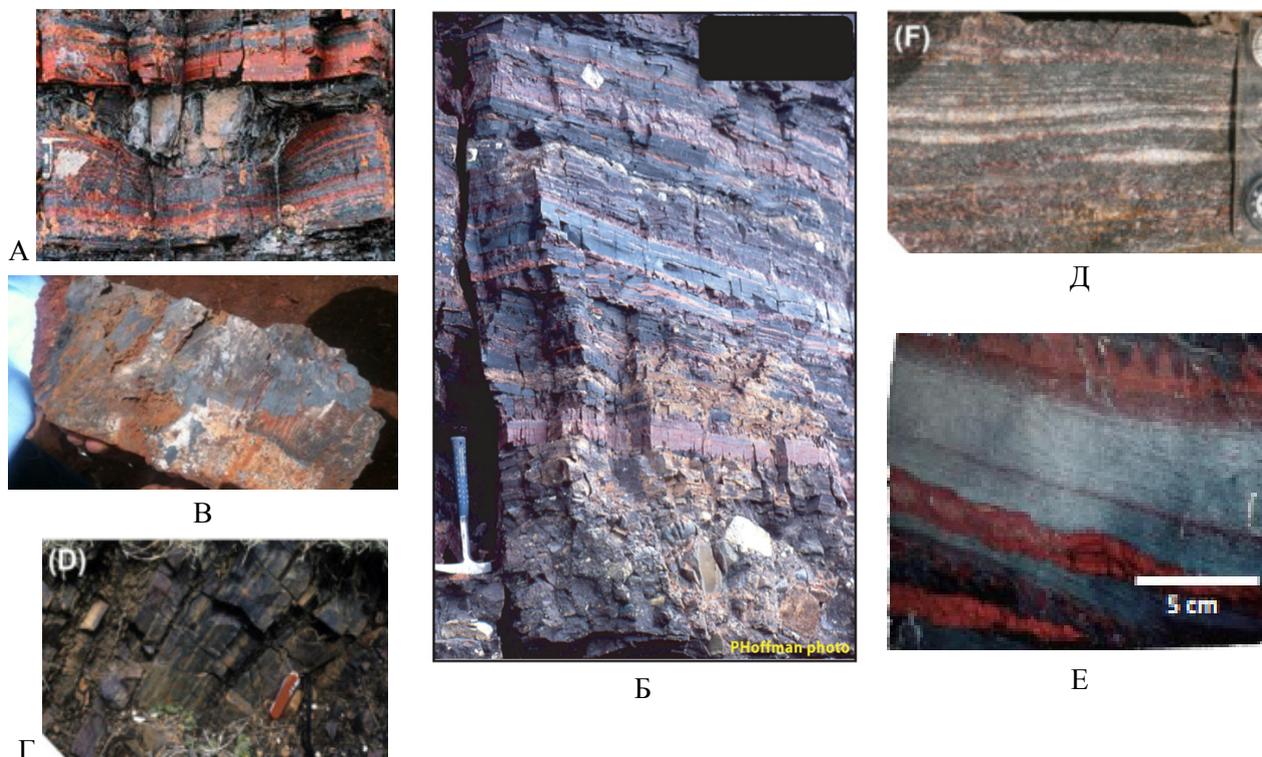


Рис. 4. Рифейские BIF, в т. ч.: А – Б – район Рапитан, Канада, эрратические валуны (<https://s-media-cacheak0.pinimg.com/236x/cc/4a/f2/cc4af2977dc4cd1e68b477e44541d37d.jpg>), В – Эль Мутун, Боливия (https://www.idom.com/wp-content/grand-media/image/JINDAL_EN_EL_MUTUN_Iron_ore_Idom02.jpg), Г – свиты Йербаль (Yerbal), Уругвай [6], Д – формации Жукуруту (Jucuruto), СВ Бразилия [6], Е – ЖКФ Египта [34].

Руды **Эль Мутун** связаны с серией Жакадиго, в которой имеются пачки тонкого переслаивания гематитов и яшм с содержанием 43–45 % Fe и элювиально-делювиальными образованиями, где содержание Fe повышается до 57 %. Месторождение занимает площадь 75 км². Металл находится в форме гематита и магнетита, меньше, – сидерита и марганцевых минералов. Масштабы объекта называют сопоставимыми с общими мировыми резервами в 800 млрд т и 230 млрд т металла [41]. ЖКФ приурочены к грабенам бассейна Тукавако (Tucavaca) [42]. Их первичные осадки, полагают местные авторы, формировались в фиордах в ледниковых условиях. Ныне они входят в состав формации Санта Крус, породы которой перекрыли интрузивы с датами 0,8 млрд лет [36]. Подобные ЖКФ открыты и в других частях Южной Америки: в свите Йербаль (Yerbal), Уругвай, формации Жукуруту), СВ Бразилия и т. д. [6], см. рис. 4, Г, Д.

Тринадцать площадей с выходами ЖКФ оконтурены на площади около 30 тыс. км² в Восточной пустыне Египта (Красноморский регион). Из них лишь наиболее юго-восточный объект **Умм Нар** (Um Nar) считается палеопротерозойским, остальные относят к интервалу 0,75–0,65 млрд лет. Первичные железные руды относят к фациям оксидной (магнетит+гематит), силикатной (кварц + подчиненные количества хлорита в виде рипидолита-клинохлора, гриналита (Fe²⁺, Fe³⁺)₂-₃Si₂O₅(OH)₄, стильпномелана K(Fe, Mg, Al)₁₂(OH)₁₄[(Si, Al)₁₆O₄₀]nH₂O, гроссуляра-альмандин, кальцита, эпидота, роговой обманки, плагиоклаза). В них, за исключением наиболее северного месторождения **Хадрабиа** (Hadrabia), преобладающий оксид – магнетит, считающийся первичным даже если сильно мартитезирован. На Хадрабиа магнетита и гематита примерно поровну. Слоистость отмечается от макро до мезо- и микроуровней (рис. 4, Е). Магнетитовые слои чередуются с гематитовыми и силикатными, и лишь в рудах Хадрабиа отмечены оолитовые и пизолитовые текстуры. Наиболее интересная геохимическая особенность объектов – высокое отношение Fe/Si сравнительно с альгомаитами и сьюпериитами. Бедность первичными сульфидами и сидеритом говорят об удалении среды осадконакопления от наиболее глубоких частей бассейнов [34]. На отдельных объектах, например, на **Вади Кареим** (Wadi Kareim) отмечают в разрезах с джеспилитами и диамиктиты (гляциомаринные отложения с крупными обломками дальнепринесенных пород).

Оксидная и силикатная фации ЖКФ наиболее распространены, карбонатная присутствует на некоторых месторождениях – Вади Кареим, Вади Даббах (Wadi Dabbah), Хадрабиа.

Все египетские месторождения имеют очень высокие отношения Fe/Si и Fe³⁺/Fe²⁺, резко отличные от типов Альгома и Сьюпериор. Не смотря на большие вариации от объекта к объекту повсеместно ЖКФ Египта имеют высокие значения Al и низкие Cr, Ni в отличие от альгомаитов (табл. 1). Значения для REE также иные чем в случаях типичных альгомаитов,

сьюпериитов, рапитанитов.

Рифейские ЖКФ открыты и в других регионах Мира. В Китае на острове Хайнань обрабатывают **Шилу** (Shilu), единственное в стране месторождение неопротерозойских «амфиболитовых итабиритов» с преобладанием гематита. Залежи распространены в породах группы Шилу (1,3–0,9 млрд лет). Протолитом полагают неопротерозойские VIF, формировавшиеся на морском дне при пульсирующем поступлении низко- и высокотемпературных растворов, обогащенных Fe, Co, Cu, Si. Доказанные ресурсы более 460 млн т Fe руды с 51 % FeO, 4,07 млн т Co руды с 0,29 % Co, 6,65 млн т Cu руд с 1,18 % Cu.

На востоке Бразилии на **Морру ду Урукум** (Morro do Urucum), штат Мату Гросу ду Сул, залегают самые молодые джеспилиты этой страны с датами около 0,6 млрд лет. Ресурсы около 100 млн т железа [43].

В Сибири известны **Абчадский** (Бурятия) и **Тыйский** (Иркутская область) рудные районы Олоkitской зоны с промышленными объектами в отложениях нижнерифейских свит R₁il+is+ab. В **Сангиленской** зоне Тувы руды малых месторождений относят к сьюпериитам. Суммарные прогнозные ресурсы железных руд по находящимся в пределах рудного поля **Мугурскому, Арысканскому и Центральному** месторождениям около 1150 млн т (около 450 млн т железа). Пласты полосчатых кварцево-магнетитовых руд (мощность 8–10 м, длина до 8 км) залегают среди слюдястых кварцитов, биотитовых и графитовых кристаллосланцев, амфиболитов, мраморов мугурской свиты (PR или PZ). В рудах 30–47 % Fe, 0,1–0,3 % S (до 1,5–2,0 % S), 0,2–0,4 % P (до 0,8–1,9 % P).

В Приморском крае оконтурены малые месторождения сьюпериитов **Уссурийское. Ипполитовское** рудного пояса Кабарга (R-С₁). Рудные тела со средним содержанием 23,8–38,6 % Fe находятся среди кембрийских известняков, в т. ч. окремнелых, графитовых пелитовых глинистых сланцев, Fe-Mn и фосфатных слоёв, доломитов.

4. Железисто-кремнистые формации палеозоя

В палеозойских толщах также известны аккумуляции джеспилитов, представляющие промышленный интерес. Близки к освоению нижнекембрийские месторождения ЕАО в Мало-Хинганском прогибе, наложенном на Буреинский массив. Среди них: **Кимканское** (резервы магнетитовых кварцитов 221,7 млн т руды с 35,1–35,9 % Fe при среднем 35,69 % Fe; запасы 137 млн т, содержания 35% Fe); **Сутарское** (запасы и прогнозные ресурсы до глубины 600 м 1 млрд т, по С₃ 369,325 млн т), **Костенгинское, Южно-Хинганское**. Для первых трех объектов уточненные суммарные запасы железных руд составляют около 2,7 млрд т. Пластовые залежи локализованы в тремолитизированных доломитах, тремолит-карбонатных и кварц-слюдястых сланцах позднекембрийской-раннеордо-викской кимканской толщи хинганской серии R₃-PZ₁[44]. В пробах железистых сланцев «установлены низкие (<1 %) содержания Al₂O₃, от-

ношения $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ (общ.) и SiO_2/Al_2O_3 , близкие к таковым рудоносных интервалов Тим-Ястребовской рифтогенной структуры с высокой платиноносностью, а также Ni-Mo с благородными металлами месторождений Южного Китая в углеродистых сланцах» [45].

В Красноярском крае (Кизир-Казырский рудные пояса) **Белокитанское** Fe-рудное вулканогенно-осадочное месторождение имеет резервы 200 млн т руды при 36–88,6 % Fe. Линзовидные и пластовые залежи магнетитовых и гематитовых руд заключены в вулканитах и переслаивании туфов, песчаников, филлитов, яшмоидов колпинской свиты ($C_2?$).

В **Прибалхашском** железорудном районе проявления железистых кварцитов Жиндау, Итбас, Калмакжактан I и II, Карашат, Сузускара распространены среди яшмокварцитов кызыкской свиты среднего ордовика Кызык-Итмурундинского антиклинария. Эксгальационно-осадочные гематитовые руды мощностью 15–60 м встречены также среди кварцитов, порфириров, кремнистых сланцев девона [46, с. 329].

Более молодыми являются железистые кварциты **Тадонг** (Tadong), пров. Цзилинь, Китай. Их резервы составляют 177 млн т Fe руды с 25,24 % Fe, 1,72 % P_2O_5 , 0,25 % V_2O_5 , 2,74 % S, 0,007 % Co, 0,002–0,004 % Ga. Залежи приурочены к определенному горизонту силурийской формации Хонггуань (Hongguang). Лежащая и висячая стенки сложены диопсидовым мрамором, биотит-лептинитовым (лептинит, или гранулит пятнистый, – порода с пятнами, образованными различными группировками кристаллов амфибола) и биотит-плагиоклазовым гнейсами, амфиболитами, мигматитами. Считается метаморфизованным морским вулканогенно-осадочным, но некоторые полагают его метаморфизованным осадочным, без участия вулканизма.

На юге Центрального Чили в месторождении **Науэлбута** (Nahuelbuta) полосчатые железистые образования ордовика-девона (?), досреднекаменноугольные, распространены среди кремнистых пород толщи Льеу-Льеу (Lleu Lleu) комплекса Науэлбута-Кеуле (Nahuelbuta-Queule). Залежи представлены окисно-силикатно-сульфидной фацией. По геохимическим признакам считаются относящимися к вулканогенным ВIF, связанным с подводными эксгальациями [47].

Руды монгольского каменноугольного месторождения **Томортолгой** (Tomortolgoi) в рудном поясе Хангай относят к сьюперитам. Их резервы 25 млн т, средние содержания 36–56 % Fe. Представлено магнетит-гематитовыми линзами в песчаниках каменноугольной группы Хангай (Khangai). Длина залежи сотни метров, мощность 55–60 м. Линзы массивной магнетит-гематитовой руды занимают площадь 15 м x 30 м. Богатые магнетитовые руды содержат 50–55% Fe, собственно гематитовые – 30–40 % Fe [48].

Обсуждение и выводы

Сформулированные отечественными геологами закономерности эволюции ЖКФ во времени [1, 2 и

др.] в основном подтверждаются новыми мировыми данными. В самом деле, архейские, по преимуществу, джеспилиты, формировавшиеся в условиях значительного участия вулканических процессов («альгомаиты»), в раннем протерозое заместились осадочными разностями («сьюпериты»), а в финальные фазы PR_1 – кластогенными, брекчиевыми переотложенными продуктами (оскольская серия КМА). В первом приближении эмпирическая закономерность для нижнего докембрия выдерживается, но – не полно и изобилует исключениями. ЖБФ раннего протерозоя не связаны с вулканизмом? Однако выше мы обсуждали присутствие среди сьюперитов Хамерсли мощного протяженного туфового горизонта, из-за чего часть исследователей вынуждена относить местные джеспилиты к альгомаитам. Другой постулат – «ЖКФ формировались практически только в раннем докембрии», – оказался уязвимым в свете значительных новых открытий рифейских и фанерозойских промышленных объектов этого типа. Природа, как бы напоминая о возможностях добываться схожего результата разными методами, демонстрирует нам развитие на всех континентах неопротерозойских «рапитанитов» (вроде бы, связанных с ледниковыми процессами), раннекембрийских «кимканитов» (вроде бы, с оледенениями не связанных), силурийских морских «тадонгитов» и т. д. Часто – с запасами промышленных руд в сотни миллионов, а то и миллиарды тонн, которые мелкими исключениями не назвать.

Существуют очевидные сложности со строгими временными рамками, которыми можно ограничить накопление ЖКФ разных типов. Обычно рассматриваемый рубеж «архей-протерозой» для альгомаитов и сьюперитов если и подходит, то очень приблизительно: возраст ЖКФ **Кривбасса, КМА, Грикваленд Уэст, Трансвааля** «захватывает» на > 100 млн лет неархей, т. е. не только раннепротерозойский. Более того, хорошо выраженные древнейшие разности джеспилитов («альгомаиты») появлялись и позже, когда локально возрождались необходимые для накопления тектонические обстановки с вялыми отрицательными движениями и эксгальационным компонентом (рифейские альгомаиты Шилу, о. Хайнань). В следующей статье, посвященной генетическим аспектам становления ЖКФ, будет показано, что и вендские квазиледниковые рапитаниты, ассоциирующие с эрратическими валунами и диамиктитами, имели «ледниковых» предвестников в нижнепротерозойских толщах Трансвааля и Грикваленда.

В чем же тогда заключается эволюция в формировании ЖКФ? В такой связи рассмотрим таблицу.

Высвечиваются некоторые эволюционные черты: 1 – закономерную смену самой тонкой (доли миллиметра, раннеархейские альгомаиты кратона Карнатака) полосчатости, последовательно, тонкой (у рубежа AR_3 - PR_1 на КМА, в Кривбассе, на западе Австралии), переменной (до грубой, оскольская серия КМА), грубой (рапитаниты, повсеместно). Это вполне может отражать не только переменчивость глубинной

Таблица 1

Эволюция ведущих характеристик ЖКФ в докембрии и их сопоставление с аномальными аналогами Красноморского региона. С использованием [34]

Параметры ЖКФ	Альгомаиты	Сьюперииты	Рапитаниты	
			Канады	Восточной пустыни Египта
Геол. возраст (млрд лет)	AR (> 2,5)	AR ₃ -PR ₁ (2,6-1,9)	V (0,8-0,6)	V (0,75-0,65)
Тектоническая позиция	Зеленокаменные пояса, иногда с массивными сульфидами (VMS)	Пассивные окраины ГЗП и кратонов. В инт. 2,6-2,4 млрд лет – массовое появление тел базитов–гипербазитов (возможный триггер процессов оксидации)	Активизированные окраины кратонов. Глобальная вспышка основного магматизма (особенно, венд)	
Масштабы	Обычно малые	До очень крупных	Малые, но иногда очень крупные (Эль Мутун)	Малые
Мощности	Менее 50 м	Более 100 м	75-270 м	5-30 м
Деформации	Обычно сильные	Разной степени, иногда недеформированные (Хамерсли)	Деформированные	Сильно деформированные
Присутствие оолитов	Редки	Обычны	Отсутствуют	Отсутствуют
Полосчатость	Переменчивая, от тончайшей (доли мм) до макро (см)	Тонкая на рубеже AR-PR ₁ (BIF), более грубая «зернистая»(GIF) – позже	Грубая	Грубая
Фации	Оксидная, силикатная, сульфидная, карбонатная	Оксидная, силикатная, карбонатная	Оксидная, силикатная, иногда карбонатная	Оксидная, силикатная, карбонатная
Минералы руд	Магнетит>гематит. Иногда присутствует стильпноделан	Магнетит>гематит	Гематит	Магнетит>гематит
Вмещающие толщи	Толеитовые и изв.-щел. вулканиты, туфы, вакки, глинистые сланцы	Глинистые часто карбонатные сланцы	Диамиктиты	Толеитовые и изв.-щел. вулканиты, туфы, вакки
Особенности химического состава	Повышенные Cr, Mn, Ni, Cu, As. Частые аномальные Au	Пониженные Cr, Co, Ni, Cu, Zn	Повышенные P, Fe, пониженные Cr, Ni, Co, сильные вариации Al	Пониженные Cr, Co, Ni, Cu, сильные вариации Al
REE/NASC («Североамерикан. сланец», «North American Shale Composite»)	± Eu, – Ce, слабое обогащение HREE	+ Eu, сильное обогащение HREE	–Sm, Ce (?), + Nd & Eu, HREE (?)	– Sm, + Nd, + Eu,
Fe/Si	< 1,36	< 1,36	1,3–1,6	1,4–2,75
Fe ₂ O ₃ /FeO	1,9	2,76	46–100	5,5–8

активности, но и усиление процессов окисления после Великого Окислительного События (Great Oxidation Event, GOE), имевшего место около 2,45 млрд лет назад [7]; 2 – постепенное увеличение индекса Fe₂O₃/FeO от 1,9 (альгомаиты) до 2,76 (сьюперииты) и 46–1 (рапитаниты); 3 – падение содержаний Au, рост индексов HREE от альгомаитов к сьюпериитам; 4 – исчезновение в сьюпериитах и рапитанитах сульфидной фации, показательной для альгомаитов.

Замечательная полосчатость ЖКФ является настолько важной их чертой, что должна быть положена в основу новых классификаций. Справедливо предложено [8, 9] «полосчатыми железистыми формациями» (BIF) именовать только те ЖКФ, что накопились в архее и самом начале раннего про-

терозоя. Тогда в эту группу попадут все основные аккумуляции осадочных железорудных бассейнов. Все более поздние ЖКФ этими авторами предложено отнести к «зернистым железистым формациям» (GIF). На наш взгляд, для образований около 2,0–1,65 млрд лет (такониты Лабрадора, оскольская серия КМА) точнее говорить о «полосчато-зернистых формациях» (BGIF), зарезервировав термин GIF для рапитанитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцев, Я. И. Железонакопление в докембрии / Я. И. Белевцев, Д. А. Жулик, М. Н. Коржнев [и др.]. // Железисто-кремнистые образования докембрия. – Киев: Наукова Думка, 1992. – [Я. Н. Белевцев, ред.] –237 с.

2. Щеголев, И. Н. Железорудные месторождения докембрия и методы их изучения / И. Н. Щеголев. – Москва, Недра, 1985. – 196 с.
3. Тевелев, Ал. В. Тараташский гнейсово-мигматитовый комплекс Южного Урала – архей или ранний протерозой? Ал. В. Тевелев, И.А. Кошелева, Арк.В. Тевелев, О.А. Хотылев, И.А. Прудников, Н.А. Кулюкина, И.Н. Зубенко Тараташский гнейсово-мигматитовый комплекс Южного Урала - ISES www.ises.su/archive/2015/pdf/Tevelev_Al_Taratash_age_ises2015.pdf
4. Bark, Glenn. Orogenic gold in the new Lycksele-Storuman ore province, northern Sweden; the Palaeoproterozoic Fäboliden deposit / Glenn Bark & Pär Weihed. – Licentiate Thesis. – Luleå University of Technology, 2005. – 25 p.
5. Cannon, William F. Algoma Fe deposits (Model 28b; Cannon, 1986) / William F. Cannon, Donald G. Hadley, and Robert J. Horton // Summary of relevant geological, geoenvironmental, and geophysical information. – P. 209-213. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831/CHAP27.pdf> (Дата обращения 01.09.2017).
6. Gaucher, Claudio. Chemostratigraphy of Neoproterozoic Banded Iron Formations (BIF): Types, age, and origin / Claudio Gaucher, Alcides L. Sial, Robert Frei // Chemostratigraphy: Concepts, Techniques, and Applications. – Chapter 17. – [Mu. Ramkumar, ed.]. – Amsterdam-Oxford-Waltham: Elsevier, 2015 – P. 433–450.
7. Bekker, Andrey. Iron Formation: The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes // Anrey Bekker, John Slack, Noah Planavsky, Bryan Krapež, Axel Hofmann, Kurt O. Konhauser, Olivier J. Rouxel // Economic Geology, May 2010. – 105 (3). – P. 467–508.
8. Bekker, Andrey. Iron Formation: The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes – a Reply // Andrey Bekker, John F. Slack, Bryan Krapež, Olivier J. Rouxel // Economic Geology, 2010. – March 2012. – 107 (2). – P. 377–379.
9. Trendall, Alec. The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes – a Discussion / A. F. Trendall // Economic Geology, March 2012. – 107 (2). – P. 377–379.
10. Сергеева, Л. Ю. Геохимия циркона из гранулитов дальинской серии / Л. Ю. Сергеева, С. Г. Скублов, Н. И. Гусев, А. Е. Мельник // Зап. Всерос. Мин. об-ва, 2016. – Ч. CXLV. – № 6. – С. 20–44.
11. Majumder T. Zoned sedimentary magnetites from Precambrian banded iron formation of Eastern India / T. Majumder, K. L. Chakraborty // Journ. Geol. Soc. India, 1988. – V. 32. – № 1. – P. 61–64.
12. Nadagouda, D. B. Banded iron formation from Hulijar-Kuduricanve area, Tumkur district, Karnataka state / D. B. Nadagouda, R.S. Hanagodinat, T. C. Devoraju // Journ. Geol. Soc. India, 1988. – V. 31. – № 4. – P. 417–425.
13. Trendall, A. F. The iron formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia / A. F. Trendall, J. G. Blockley // Western Australia, Geol. Survey Bull., 1970. – V.118. – 366 p.
14. Авдонин, В. В. Месторождения металлических полезных ископаемых. В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев, Ж. В. Семинский, Н. А. Солодов, В. И. Старостин. – М. : Трикта, Академический проект, 2005. – 718 с.
15. Sciuba, Marjorie. Mineralogy and Geochemistry of the Banded Iron-Formation in the Svartliden Gold Deposit, Northern Sweden / Marjorie Sciuba 2013. – 109 p. [Электронный ресурс]. URL: www.diva-portal.org/smash/get/diva2.../FULLTEXT02.pdf (Дата обращения 01.09.2017).
16. Wilde, S. A. Determining Precambrian crustal evolution in China: a case-study from Wutaishan, Shanxi Province, demonstrating the application of precise SHRIMP U–Pb geochronology / S. A. Wilde, P. A. Cawood, K. Y. Wang, A. Nemchin, G. C. Zhao. // Aspects of the Tectonic Evolution of China. – London: Geological Society of London, 2004¹. – Special Publication 226 [J. Malpas, C. J. N. Fletcher, J. R. Ali, and J. C. Aitchison, eds]. – P. 5–25.
17. Wilde, S.A. Granitoid evolution in the Late Archaean Wutai Complex, North China Craton / S.A. Wilde, P.A. Cawood, K.Y. Wang, A. Nemchin // Journal of Asian Earth Sciences, 2005. – 24. – P. 597–613.
18. Wilde, S. A. First SHRIMP zircon U-Pb ages for Hutuo Group in Wutaishan: Further evidence for Palaeoproterozoic amalgamation of North China Craton / S. A. Wilde, Guochun Zhao, Kaiyi Wang and Min Sun // Chinese Science Bulletin, 2004². – V. 49. – N 1. – P. 83–90.
19. Zhai, Mingguo. The Archaean and early Proterozoic banded iron formations of North China: their characteristics, geotectonic relations, chemistry and implications for crustal growth / Mingguo Zhai, Brian F Windley // Precambrian Research, October 1990. – V. 48. – Issue 3. – P. 267–286.
20. Tassinari, Colombo C. G. The Imataca Complex, NW Amazonian Craton, Venezuela: Crustal evolution and integration of geochronological and petrological cooling histories episodes Jose / Colombo C. G. Tassinari, M. U. Munha, Wilson Teixeira, Teresa Palacios, Allen P.Nutman, Cesar S. Sosa, Adjair P. Santos, and Bruno O. Calado // Episodes, March 2004. – V. 27. – № 1. – P. 3–13.
21. Dardenne, Marcel Auguste. Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas / Marcel Auguste Dardenne, Carlos Schobbenhaus // Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil [L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (eds.)]. – CPRM, Brasília, 2003. – Capítulo VII. – P. 359–465.
22. Kaouat Iron Ore Project Mauritania. [Электронный ресурс]. URL: www.transafrikaresources.com/.../transafrik... (Дата обращения 01.09.2017).
23. Историческая минерагеня. Т. 2. Историческая минерагеня древних платформ : в 3 т. [Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв]. – Воронеж : ВГУ, 2007. – 570 с.
24. Рундквист, Д. В. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия / Д. В. Рундквист, М. В. Минц, В. М. Ларин, В. М. Ненахов, Е. Ю. Рыцк, С. И. Турченко, Н. М. Чернышов. – М., 1999. – 399 с.
25. Аксаметова, Н. В. Палеолитогенез реннедокембрийских железисто-кремнистых формаций Восточно-Европейского кратона / Н. В. Аксаметова // Материалы Всероссийской конференции. – Петрозаводск, 12–15 ноября 2007. – С. 5–8.
26. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Стратиграфия / Н. П. Щербак, Я. Н. Белевцев, В. Ю. Фоменко и др. – Киев: Наук, думка, 1988. – 192 с.
27. PIRSA Minerals. Iron Ore, 20 Aug 2010. [Электронный ресурс]. URL: outernode.pir.sa.gov.au/minerals/geology/.../iron_ore (Дата обращения 01.09.2017).
28. RTZ Iron Ore Mine, Hamersley Basin, Western Australia – Mining. [Электронный ресурс]. URL: www.mining-technology.com/projects/hamersley/ - (Дата обращения 01.09.2017).
29. Rasmussen, Birger. Redox state of the Archean atmosphere: Evidence from detrital heavy minerals in ca. 3250–2750 Ma sandstones from the Pilbara Craton, Australia // Birger Rasmussen and Roger Buick. [Электронный ресурс]. URL: geology.gsapubs.org/content/27/2/115.full.pdf (Дата обращения 01.09.2017).

- 30 – Bolhar, Robert. A non-marine depositional setting for the Northern Fortescue Group, Pilbara Craton, inferred from trace element geochemistry of stromatolitic carbonates / Robert Bolhar and Martin J. Van Kranendonk // *Precambrian Research*, 2007. – 155. – P. 229–250.
31. Powell, C. McA. Late Archean and Early Proterozoic Tectonics and Basin formation of the Hamersley Ranges / C. McA. Powell and R. C. Horwitz (with contributions from D. Martin, S. Kiyokawa & A. Taira. – 12th Australian Geological Convention, September 1994. – Excursion Guidebook N 4 for the pre-convention excursion El. – 60 p.
32. Fryer, Brian J. Canadian Precambrian iron formations: ages and trace elements compositions / Brian J. Fryer. – Submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of doctor of philosophy at the Massachusetts Institute of Technology, August 1971. – 180 p.
33. Moore, John M. Deconstructing the Transvaal Supergroup, South Africa: implications for Palaeoproterozoic palaeoclimate models / John M. Moore, Harilaos Tsikos and Stefane Polteau // Rhodes University, 4 дек. 2009. – eprints.ru.ac.za/.../Deconstructing_the_Transvaal_Supergroup,_South_Afri.
34. Khalil, Isaac. Banded Iron Formations from the Eastern Desert of Egypt: A new type of Ore? / Isaac Khalil and Aley K. El-Shazly // Session 02d (Poster): Precambrian sediments as records of early earth tectonics and oceanatmosphere-biosphere interactions. – Poster # 24. – Banded Iron Formations from the Eastern Desert ... – Marshall University. [Электронный ресурс]. URL: www.science.marshall.edu/elshazly/Khalil_Elshazly_Goldsch... (Дата обращения 01.09.2017).
35. Macdonald, F. A. Neoproterozoic and early Paleozoic correlations in the western Ogilvie Mountains, Yukon / F. A. Macdonald, E. F. Smith, J. V. Strauss, G. M. Cox, G. P. Halverson, C. F. Roots. – Yukon Exploration and Geology, 2010 [К.Е. MacFarlane, L.H. Weston and C. Relf, eds.]. – Yukon Geological Survey, 2011. – P. 161–182.
36. Pitman, Paul. Technical Report on the CERRO ROJO PROJECT Department de Santa Cruz Provincia German Busch 58° 15' to 58° 21' west, 19° 02' to 19° 06' north BOLIVIA / Paul Pitman. – September 15, 2011. – 102 с.
37. Xu, Deru. Geological characteristics and metallogenesis of the Shilu Fe-ore deposit in Hainan Province, South China / Deru Xu, Zhilin Wang, Jianxin Cai, Chuanjun Wu, Nonna Bakun-Czubarow, Li Wang, Huayong Chen, Michael J. Baker, Monika Agnieszka Kusiak // *Ore Geology Reviews*, 2013. – 53. – P. 318–342.
38. Бергман, И. А. О генезисе железисто–кремнистой формации Рапитан позднепротерозойского возраста (Северо–Западная Канада) / И. А. Бергман // *Вестн. ВГУ: сер. Геология*, 2016. – № 4. – С. 15–17.
39. Sedimentology and Geochemistry of Glaciogenic... [Электронный ресурс]. URL: econgeol.geoscienceworld.org/cgi/.../542.p (Дата обращения 01.09.2017).
40. Курская Магнитная Аномалия. – Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: www.mining-enc.ru/k/kurskaya-magnitnaya-anomaliya/ (Дата обращения 01.09.2017).
41. El Mutún From Wikipedia, the free encyclopedia Geology of Bolivia – Wikipedia. [Электронный ресурс]. URL: the-free-encyclopedia-en.wikipedia.org/wiki/Geology_of_Bolivia (Дата обращения 01.09.2017).
42. Arce-Burgoa, Osvaldo R. Metallogeny of Bolivia / Osvaldo R. Arce-Burgoa, Richard J. Goldfarb [Электронный ресурс]. URL: www.dim.uchile.cl/~Isaavedr/.../Metallogeny%20of%20Bolivia.pdf (Дата обращения 01.09.2017).
43. Rosiere, Carlos Alberto. Brazilian iron formations and their geological setting / Carlos Alberto Rosiere and Farid Chemale Jr. // *Revista Brasileira de Geociências*, junho de 2000. – 30 (2). – P. 274–78.
44. Смирнова, В. Ю. Тектонические условия накопления и источники верхнепротерозойских и нижнепалеозойских терригенных отложений Малохинганского террейна Центрально–Азиатского складчатого пояса / Ю. Н. Смирнова, А. А. Сорокин, А. Б. Котов, В. П. Ковач // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 2016. – Т. 24. – № 3. – С. 3.
45. Бердников, Н. В. Условия образования углеродистых с благороднометальной минерализацией толщ восточной части Буреинского массива / Н. В. Бердников, В. Г. Невструев, В. П. Нечаев // *Рудообразование на границах субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. – Владивосток : ДГИ ДВО РАН и ДВФГУ, 20–23 сентября 2016. – С. 300–302.*
46. Геология СССР. Т. XX. Центральный Казахстан. Полезные ископаемые : в двух книгах. – Кн 1. – М.: Недра, 1989. – 541 с.
47. Oyarzun, R. Geologic and Metallogenic Aspects concerning Nahuelbuta mountains banded iron formations / R. Oyarzun, H. Chemmey, S. Collao // *Mineral Deposita*, 1986. – 21. – P. 244–250.
48. USGS professional paper 1765, Chapter 3 - USGS Publications ... [Электронный ресурс]. chapter.../p1765_chapter_3.p... (Дата обращения 01.09.2017).

Воронежский государственный университет

Савко Аркадий Дмитриевич, заведующий кафедрой исторической геологии и палеонтологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный геолог России
E-mail: savko@geol.vsu.ru; Тел.: +7(473) 220-86-34

Шевырёв Леонид Тихонович, ведущий научный сотрудник НИИ Геологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук
E-mail: shevpp@yandex.ru
Тел.: +7 (473) 235-39-42

Voronezh State University

Savko A. D., Head of the Historical Geology and Paleontology Department, doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Celebrated Geologist of Russia
E-mail: savko@geol.vsu.ru
Тел.: +7(473) 220-86-34

Shevryev L. T., Leading Scientific Associate of the Geology Institute, doctor of the Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: shevpp@yandex.ru; Тел.: +7 (473) 235-39-42