

**О ГЕНЕЗИСЕ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТОЙ ФОРМАЦИИ РАПИТАН
ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА
(СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ КАНАДА)****И. А. Бергман***г. Москва*

Поступила в редакцию 20 октября 2016 г.

Аннотация: рассмотрена геологическая информация по железисто-кремнистой формации Рапитан в связи с её генезисом. В результате её анализа определено, что выводы К. Клейна и Н. Бёкеса не обоснованы. Предлагается использование критериев сорбционной ёмкости и величины Li-Mg отношения для надежного выбора между оксидами (и гидроксидами) и силикатами железа, а также между ними и железистыми карбонатами.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, генезис, Рапитан.

**A NOTE ABOUT THE GENESIS OF LATE PROTEROZOIC FERRUGINOUS-SILICEOUS
FORMATION RAPITAN (NORTH-WESTERN CANADA)**

Abstract: the geological information on ferruginous-siliceous formation Rapitan due to its genesis is reviewed. As a result of the analysis it is determined that the findings by C. Klein, N. Beukes not justified. It is proposed to use the criteria and values of sorption capacity Li-Mg ratios for the reliable choice between oxides (and hydroxides), and ferrous silicates, as well as between them and ferrous carbonates.

Keywords: ferruginous-siliceous formation, genesis, Rapitan.

По данным отечественных геологов, в позднем протерозое происходило отложение хемогенных сидеритов месторождений Зигазино-Комаровского района Башкирии, требующих для своего образования углекислотной восстановительной атмосферы. По сведениям ряда зарубежных специалистов с этой эпохой связано глобальное оледенение Планеты и сопряженное с оледенением образование осадочных/вулканогенно-осадочных гематитовых руд, требующих для своего образования окислительной атмосферы (формация Кингстон-Пик, Восточная Калифорния, США; формация Рапитан, горы Маккензи, Канада; верхняя группа Тиндир, Восточная Аляска; группа Якадиго в Матто Гроссо дель Сул, Западная Бразилия, и др.).

В 1993 г. К. Клейн и Н. Бёкес опубликовали статью [1], в которой с использованием новых данных, полученных по естественным обнажениям и керну буровых скважин железистой (в последующем железисто-кремнистой) формации (ЖКФ) Рапитан, попытались сформулировать и обосновать развиваемую ими идею первичной гидроксидно-гематитовой природы рудного вещества этой формации. Позднее сформулирована осадочная модель дometаморфической и первичной сидерито-силицитовой природы рудного и нерудного вещества ЖКФ раннего докембрия, выстроенная на основе методов элементной

геохимии [2]. ЖКФ раннего докембрия имеют ряд общих черт с ЖКФ позднего протерозоя, поэтому в качестве следующего шага логично попытаться применить те же принципы и методы к ЖКФ позднего протерозоя с целью реконструкции их додиагенетической и первичной природы.

С точки зрения элементной геохимии оксиды или гидроксиды и силикаты железа имеют много общего и могут быть методически объединены в одну группу. В эту группу сульфиды железа железистых кварцитов раннего докембрия и гематито-кремнистой формации (в гематитовых микрокварцитах) позднего протерозоя не подходят, поскольку: 1) содержание серы в них обычно не превышает десятых долей процента, и только в метасоматически измененных разновидностях может достигать процента и более за счет привноса серы из её содержащих углеродистых сланцев, и 2) содержание халькофильных элементов, как правило, ниже их кларковых значений.

Автором предлагаются два элементно-геохимических метода и соответствующие им критерии – критерий сорбционной емкости и величина Li-Mg отношения. Они позволяют сделать надежный выбор между оксидами и гидроксидами и силикатами железа, с одной стороны, и железистыми карбонатами, с другой, и могут быть применены к ЖКФ Рапитан (табл. 1).

Содержание элементов-сорбатов и некоторых петрогенных элементов в породах ЖКФ

1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	35,68	62,32	38,24				
Al ₂ O ₃	0,12	0,17	1,19				
Fe ₂ O ₃	50,25	33,03	48,04				
FeO	0,5	0,53	1,03				
V	-	-	-	9,2	<10-800	-	19
Cr	18	32	25	5,8	10-15000	4,5	15
Co	1,3	0,6	4,27	1,0	Н.ч.-600	0,4-5	5
Ni	9	8	14	≈ 4,0	Н.ч.-1200	-	10
TR	13,5	12,3	39,2	14,6	50-690	1,8-20	22
Sc	1,39	1,9	5,22	0,82	<0,4-8,0	0,07-1,9	2,1
U	0,05	0,06	0,18	0,15	1,1-4,3	< 0,1	0,75
Th	0,099	0,122	0,7	0,5	6,7-32	0,3	1,6
As	3,43	3,39	10,5	1,4	Н.ч.-2400	<0,2-0,8	4,0
Sb	0,045	0,049	0,329	0,22	<5-54	0,11-0,23	0,31
Bi	-	-	-	0,06	-	0,05	-
P	420	230	620	800	500-17000	440-1100	460
B	-	-	-	<10	<10-300	<10	25
1000Li/Mg	-	-	-	0,2-0,8*	1-390	0,02-0,16	0,4
Eu/Eu*	<1,0**	<1,0	<1,0	1,14***	0,7-0,8	1,3-2,0	1,2

Примечания: 1 – петрогенные элементы (%%), элементы-сорбаты (ч/млн.) и отношение 1000Li/Mg; 2–4 – железистые микрокварциты формации Рапитан (Канада); 5 – железистые кварциты (PR₁) Кривого Рога (Украинский щит); 6 – гидроксидно-оксидные экзогенные железные руды; 7 – железистые метакarbonаты (PR₁) ЖКФ Кривого Рога; 8 – метазвестняки и метадоломиты верхней свиты Криворожской серии (PR₁). * неощелоченные железистые кварциты; ** нормирование содержанием редких земель в сланцах Северо-Американской платформы; *** нормирование содержанием редких земель в метеоритах (по Л. Хаскину и др., 1968).

Суть критерия сорбционной ёмкости состоит в том, что, в отличие от оксидных и гидроксидных железных руд, являющихся эффективными сорбентами V, P, As, Sb, Mo, B, Cr, Co, Ni, TR, Sc, U и др., карбонаты можно рассматривать в качестве несорбирующей среды. Кроме того, ряд элементов (Ti, V, Cr, Mo, As и др.) не образуют карбонаты и концентрироваться в них не должны; Co и Ni образуют редкие карбонаты, но с карбонатами железа не соосаждаются по причине низких кларков и более высоких произведений растворимости; образование карбонатов PЗЭ, Ag, Sb и ряда других элементов ограничено соответствующими месторождениями, т.е. средой с их резко повышенными концентрациями. Следовательно, железистые карбонаты, в отличие от оксидных и гидроксидных железных руд, представляют собой среду с низким, ниже кларкового, содержанием всех элементов-сорбатов. Этот критерий приобретает два свойства: 1) может быть независимым от геологического времени и, следовательно, применимым к железным рудам любого абсолютного возраста, и 2) по своему достоинству относиться к категории внутренних, существенных признаков, т.е. таких, которые определяют предмет тем, чем он есть.

Суть второго критерия (величины 1000*Li/Mg) состоит в том, что Li не замещает Mg в карбонатах, поскольку для вхождения в Mg-содержащие карбонаты ему нужен трёхвалентный напарник, но таких распространенных элементов нет (Al и Fe³⁺ карбонаты не образуют и по этой причине войти в них не могут). В отличие от карбонатов в оксидных и гидроксидных

железных рудах всегда есть силикаты, в которых Li может замещать Mg по схеме 2Mg ← Li + Al; именно этим объясняется то, почему величина 1000*Li/Mg отношения в этих железных рудах оказывается на порядок выше по сравнению с величиной этого отношения в Mg-содержащих карбонатах. Предлагаемый критерий также обладает теми же свойствами – независимостью от геологического времени и по своему достоинству принадлежностью к категории внутренних, существенных признаков.

Формация Рапитан стратиграфически входит в состав одноименной группы, объединяющей вместе с ЖКФ «ледниковые микститы и друпстоун-содержащие ритмиты» (по [1]) с переслаивающимися с ними конгломератами, песчаниками (р-н Маккензи Маунтинз, С.-В. Кордильеры, Сев. Америка). Породы группы с несогласием залегают на мощной толще платформенных отложений – карбонатных породах и относительно зрелых силицито-кластитах супергруппы Маккензи, и параконформно перекрываются сланцами формации Твитель супергруппы Хей-Крик. Абсолютный возраст формации Рапитан 755–730 млн лет. Рудообразование происходило в один период. Железистые микрокварциты состоят из слоистых гематитовых фелулитов, сцементированных микрокварцем. Слоями яшмы диагенетического происхождения железистые микрокварциты разделяются на ряд разновидностей, из которых нодулярный гематитовый фелулит является самой распространенной. Характерной особенностью этой разновидности являются беспорядочно содержащиеся в ней слегка оvoidные

яшмовые нодулы миллиметровой размерности, ориентированные параллельно напластованию. В некоторых пластах слои с высоким содержанием нодул чередуются со слоями с их низким содержанием. Также нодулы могут срastаться с образованием яшмовых слоев. Вокруг нодул наблюдается сжатие слоев вплоть до разрыва слоистости. Тонкослоистые микрокварциты, не содержащие нодул, встречаются очень редко. В нижней части разреза имеются слои с оползевыми явлениями, содержащими дезориентированные нодулы. Во всех изученных скважинах вниз по разрезу наблюдается заметное постседиментационное минералогическое изменение железистых микрокварцитов. Это изменение превращает тускло-серый спекуляритовый фемикрит в раскристаллизованный с металлическим блеском грубозернистый спекулярит; соответственно, в результате раскристаллизации пылевидных гематитовых частиц красные яшмовые слои превращаются в пурпурные слои таблитчатого кварца.

Постепенные переходы между железистыми микрокварцитами и другими породами редки. Известным исключением являются случаи резкого перехода бурых или красно-бурых аргиллитов в железистые микрокварциты.

Силицито-кластические компоненты в лютитовых породах ЖКФ представлены двумя типами: 1) отдельными пластами и 2) рассеянными частицами в матрице гематитового фелулита. Последние могут встречаться как отдельные дробстоуны или зёрна, а также как скопления первых и вторых варьирующей концентрации, как в пластах, так и карманах или слоях железистых микрокварцитов.

Вверх по разрезу железистые микрокварциты перекрываются толщей пород с возрастающей крупностью их слагающего материала – от аргиллитов, грубозернистых аргиллитов и граувакк до стратифицированных микститовых сланцев и грубозернистых микститов.

Железистые микрокварциты состоят из гематита, цементированного кварцем. Структура представляет собой тонкозернистый гематитовый аргиллит, содержащий в некоторых случаях гематитовые гранулы алевритовой размерности, осколки, лейсты различной формы, дисковидные и стрингероподобные микрокласты. Текстура микрокварцитов варьирует от массивной до тонкослоистой. Слоистость особенно характерна для нодулярных железистых микрокварцитов, в которых создается вариациями относительного содержания гематита и микрокварца или степени кристалличности обоих минералов. Нодулы состоят из кварца (яшмы или таблитчатого кварца) или спекулярита. Можно наблюдать различные стадии роста нодул. Первые, по-видимому, диагенетического происхождения, о чем [1] свиде-

тельствует меняющееся сжатие слоев вокруг них. Нодулы могут проявлять различную зональность. В центральных частях нодул обнаруживаются пластинчатые или неправильной формы осколкоподобные концентрации гематита. Осколки обычно окружены массивным таблитчатым кварцем с низким содержанием железа. В тех образцах, в которых осколки встречаются в железистых микрокварцитах, создается впечатление, что нодулы предпочтительно растут вокруг осколков.

Из приведенных в таблице 1 данных следует: 1) железистые микрокварциты Рапитана являются полным геохимическим аналогом криворожских железистых кварцитов и различных по составу хемогенных карбонатов и, по крайней мере, на порядок отличаются от окисно-гидроксидных железных руд экзогенного происхождения; 2) рудное вещество железистых микрокварцитов (гематит) является продуктом преобразования хемогенных железистых карбонатов; 3) в позднем протерозое господствовала углекислотная, но менее восстановительная по сравнению с ранним протерозоем, атмосфера.

Для образования хемогенных железистых карбонатов и свободного кремнезема нужны хемогенные коры выветривания. В условиях глобального оледенения такие коры выветривания образоваться не могут. Кроме того, следует учесть и вероятность возникновения парникового эффекта, связанного с господством в позднем протерозое углекислотной атмосферы с повышенным относительно современного содержанием углекислоты. Все это противоречит представлениям о глобальном оледенении, якобы охватившем Планету в позднем протерозое. Сказанное в равной мере относится и к идее И. Киршвинка (Kirschvink, 1992) о том, что Земля в позднем протерозое якобы представляла собой снежный шар – идею, поддержанной К. Клейном, Н. Бёкесом и ещё рядом исследователей.

В качестве заключения уместно привести ещё раз пророческие слова двух американских философов – Кохэна и Негеля (M. Cohen, E. Nagel, 1936): «В общем можно сказать, что безопасность науки связана с людьми, которые заботятся больше о корректности используемых ими методов, чем о корректности результатов, получаемых с их помощью».

ЛИТЕРАТУРА

1. Klein, C. Sedimentology and Geochemistry of the Glaciogenic Late Proterozoic Rapitan Iron Formation in Canada / C. Klein, N. Beukes // *Economic geology*, 1993. – V.88. – N 3. – P. 542–565.
2. Бергман, И. А. Железисто-кремнистый рудогенез раннего докембрия / И. А. Бергман. – Москва. – 2012. – 343 с. – Минеральное сырье.

г. Москва

Бергман Иван Андреевич, доктор геолого-минералогических наук

Тел.: 8 (495) 614-61-30

Moscow

Bergman Iv. An., Doctor of the Geological and Mineralogical Science

Tel.: 8 (495) 614-61-30