

Н. А. КОРНИЛОВ

**О ВОЗРАСТЕ БОГАТЫХ ГЕМАТИТОВЫХ РУД
ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ФОРМАЦИЙ ДОКЕМБРИЯ
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ДОКЕМБРИЙСКОГО
ВЫВЕТРИВАНИЯ**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 23 XII 1969)

Одним из проблемных вопросов изучения железорудных формаций докембрия является вопрос о геологическом возрасте окисления и выщелачивания железисто-кремнистых пород и образования в них залежей богатых гипергенных гематитовых руд. Существующие по этому вопросу представления альтернативны и допускают возможность образования гематитовых руд как в докембрии, так и на протяжении длительного периода континентального выветривания вплоть до перекрытия железисто-кремнистых пород верхнепалеозойскими, мезозойскими, третичными и даже четвертичными породами. Обширный геологический материал, полученный в последнее время по богатым железным рудам Европейской части СССР и многих зарубежных стран (рис. 1), а также экспериментальные и термодинамические данные о процессах окисления позволяют рассмотреть вопрос о возрасте богатых гематитовых руд более подробно и с новых позиций.

Богатые гематитовые руды образуются при выветривании как архейских (некоторые месторождения области Верхнего Озера в США, Западная Австралия, Венесуэла, и др.), так и протерозойских (Кривой Рог, КМА, Бразилия и др.) железистых кварцитов. Возраст перекрывающих рудные залежи осадочных пород варьирует в широких пределах — от кембрия до четвертичного времени. В пределах Европейской части СССР залежи гематитовых руд перекрыты девонскими (Михайловский район КМА), нижнекарбовыми (Белгородский район КМА), меловыми (Белозерский район) и триасовыми третичными (Кривой Рог, Кременчуг) породами. В настоящее время есть уже значительное количество геологических данных, свидетельствующих о широком распространении докембрийских гематитовых руд. В трех железорудных районах (3, 6, 18 на рис. 1) эти руды перекрываются местами кембрийскими или близкими по возрасту породами, в низах которых встречены обломки богатой гематитовой руды (¹⁻³ и др.). В других районах (6, 7, 9, 11, 12 и др.) остаточные гематитовые руды подвергаются метаморфизму под влиянием докембрийских интрузий. В частности, руды о. Баффин (9) метаморфизованы воздействием гранитоидной интрузии с возрастом 1750 млн лет (⁴), а руды Южной Африки (11) — воздействием интрузии Бушвельдского комплекса (⁵) с возрастом 1950 ± 50 млн. лет. Судя по описаниям структурно-текстурных особенностей (⁶), метаморфизованные гематитовые руды широко развиты во многих железорудных районах мира. В месторождении Эль-Пао, Венесуэла (7) грубозернистые массивные гематитовые руды залегают в гнейсах и метаморфизованы вместе с ним (¹), т. е. в докембрии. Интенсивная перекристаллизация и рассланцевание гематитовых руд серии Минас в Бразилии (2), сопровождавшееся образованием магнетитовых жил, пересекающих гематитовую руду (⁸), также происхо-

дили, по-видимому, в протерозое, до отложения менее метаморфизованной рифейской серии Итаколуми. В пределах Европейской части СССР гематитовые руды подвергались в ряде железорудных районов метаморфизму в зонах разломов (^а), возраст которых, однако не выяснен. Не останавливаясь на других примерах, отметим лишь, что почти во всех железорудных районах залежи гематитовых руд подверглись механическому разрушению с образованием ореолов «железорудного рассеяния», представленных обломками руды, а также разнообразным позднейшим эпигенетическим изменениям (сидеритизации и др.). Данные определений абсолютного

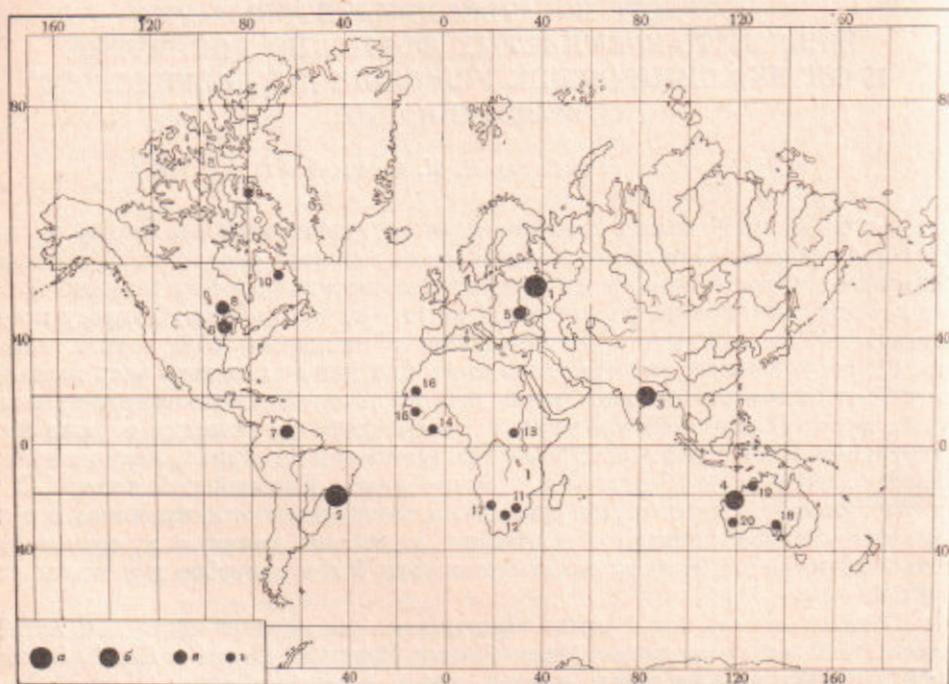


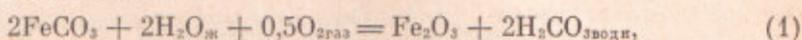
Рис. 1. Месторождения богатых гематитовых руд железисто-кремнистых формаций докембрия. а — с запасами более 10 млрд т; б — от 4 до 10 млрд т; в — от 1 до 4 млрд т; г — до 1 млрд т. Объяснение в тексте

возраста уранита, глауконита и галенита, а также определения возраста спор, имеющихся для трех районов (1, 5, 6), характеризуют время этих позднейших изменений гематитовых руд (от ордовика до третичного периода).

Приведенные выше данные показывают, что на огромных территориях Северной и Южной Америки, Африки, Индии и Австралии богатые гематитовые руды в значительной своей части образовались до отложения кембрийских пород или метаморфизованы под влиянием докембрийских интрузий. Эти данные свидетельствуют о значительной вероятности образования и всех гематитовых руд до докембрия, тем более что во всех железорудных районах минерало-геохимические и структурно-текстурные особенности руд характеризуются удивительным сходством и постоянством. Заключение о докембрийском возрасте рассматриваемых руд подтверждается также соответствием их минералогических особенностей с данными о палеогеографических условиях выветривания в докембрийский период. Согласно общепринятым представлениям В. И. Вернадского, Н. М. Стахова, А. П. Виноградова, В. В. Руби и других исследователей, атмосфера докембрия состояла главным образом из углекислоты, соединений азота и незначительного количества кислорода, имеющего целиком биогенное происхождение. При наличии такой атмосферы должно было

сказываться влияние «тепличного эффекта» (9), обуславливающего повышение температуры воздуха и соответственно понижение его влажности. Этим обстоятельством объясняется, по-видимому, глобальное развитие в докембрийских формациях гематизации, а не лимонитизации, что отвечает экспериментальным данным о равновесии гематита и гетита (10). Во всех наиболее детально изученных месторождениях богатых гематитовых руд (5, 6, 7, 3 и др.) лимонитизация является позднейшим процессом, наложенным на гематитовые руды.

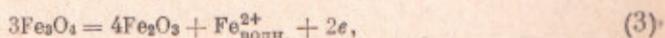
Большинство исследователей месторождений богатых гематитовых руд считают, что процесс окисления железистых кварцитов происходил при участии гипергенных растворов, «богатых кислородом». Это мнение, как будто, противоречит представлению о докембрийском возрасте гематитовых руд, если учесть, что содержание кислорода в атмосфере докембрия было незначительным. В действительности же, отмеченное мнение не выходит за рамки гипотезы. Ключевой реакцией для понимания процесса окисления железистых кварцитов является реакция замещения сидерита, постоянно присутствующего в кварцитах, дисперсным гематитом, который по нему развивается и входит в состав гематитовых руд. При высоком парциальном давлении углекислоты в атмосфере и соответственно повышенной кислотности гипергенных растворов (11) замещение сидерита гематитом определяется следующей реакцией и уравнением:



$$\lg P_{\text{O}_2} = 4\lg[\text{H}_2\text{CO}_3] - 58,06. \quad (2)$$

В растворах, находящихся в атмосфере почти одной углекислоты, окисление сидерита в гематит возможно, как следует из уравнения (2), при $P_{\text{O}_2} > 10^{-62,07}$ атм (с учетом поправки на растворимость кислорода в воде, равной 0,014 мол/л). Эти приближенные вычисления свидетельствуют о возможности окисления сидерита при ничтожно малом парциальном давлении кислорода, меньшем в $10^{60,99}$ раз, чем в современной атмосфере.

Важным подтверждением окисления железистых кварцитов и образования гематитовых руд при незначительном парциальном давлении кислорода является широкое распространение в них пористых мартитов с решетчатой структурой ((12, 13) и др.). Рассмотрение процесса мартитизации с позиций термодинамики (12) показало, что он происходит в соответствии с реакцией (3) и уравнением (4):



$$Eh = -0,032 + 0,0295\lg[\text{Fe}^{2+}]. \quad (4)$$

Оптимальные значения Eh , при которых протекает мартитизация, равны от $-0,091$ до $-0,209$ в, что характеризует восстановительные или очень слабо окислительные условия. При повышении парциального давления кислорода реакция мартитизации (3) прекращается; в частности, при современной концентрации кислорода в атмосфере образование пористых мартитов термодинамически невероятно (12).

Геологические данные свидетельствуют о том, что образование гематитовых руд началось после завершения беломорской складчатости, проявившейся 1800—2000 млн лет назад почти в глобальном масштабе. Во время последовавших затем денудации и континентального выветривания, в условиях жаркого и сухого климата, обусловленного «тепличным эффектом», происходила массовая гематитизация железистых кварцитов. Причиной гематитизации является появление в атмосфере Земли на рубеже 2 млрд лет (14) первого свободного кислорода, который затем генерировался развитием органической жизни. По-видимому, в течение почти всего протерозоя концентрация свободного кислорода в атмосфере оставалась довольно низкой, вследствие сравнительно слабого развития органической

жизни и особенно благодаря поглощению его огромными массами эродированных пород при их окислении. Об отсутствии в этот период сильно окислительной обстановки свидетельствует повышенная подвижность железа в месторождениях гематитовых руд, подтверждающаяся случаями выноса его из железистых кварцитов в боковые породы (сланцы, дайки) и миграцией из магнетита в процессе мартитизации. В конце докембрийского периода огромное количество углекислоты атмосферы вышло в осадок в составе карбонатных толщ (¹¹), вследствие чего резко уменьшилось влияние «тепличного эффекта» и наступило похолодание, отразившееся в глобальном эокембрийском оледенении (⁹). Этот переломный момент в истории развития земной атмосферы знаменует собой и окончание процессов глобальной гематитизации, которая начиная с палеозоя сменяется лимонитизацией. В последокембрийское время гематизация имела лишь локальное распространение, например при образовании красноцветов, и была обусловлена местными тропическими аридными климатами. С позиций изложенных выше данных богатые гематитовые руды железисто-кремнистых формаций докембрия следует рассматривать как древнейшие окисленные, частью метаморфизованные коры выветривания, концентрирующие в себе первый биогенный кислород Земли.

Институт минеральных ресурсов
Симферополь

Поступило
12 XII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ch. K. Leith, *Econ. Geol.*, 26, № 3 (1931). ² J. A. Dunn, *Econ. Geol.*, 36, № 4 (1941). ³ H. B. Owen, S. Whitehead, *Geology of Australian Ore Deposits*, 2-d Ed. Melbourne, 1965. ⁴ G. A. Gross, *Canad. Min. J.*, 87, № 4 (1966). ⁵ P. A. Wagner, *Mem. of the Union of South Afr. Dep. of Mines and Industr.*, 26, Pretoria, 1928. ⁶ Н. А. Корнилов, *Геол. рудн. месторожд.*, 10, № 3 (1968). ⁷ J. Kalliokoski, *Econ. Geol.*, 60, № 1 (1965). ⁸ J. v. N. Dorr, *Econ. Geol.*, 60, № 1 (1965). ⁹ М. Шварцбах, *Климаты прошлого*, ИЛ, 1955. ¹⁰ Ю. М. Епатко, Ю. П. Мельник, *Геол. журн. АН УССР и МГ УССР*, № 2 (1965). ¹¹ Н. М. Страхов, *Основы теории литогенеза*, 2, Изд. АН СССР, 1960. ¹² Н. А. Корнилов, *Зап. Всесоюз. мин. общ.*, 97, в. 4 (1968). ¹³ B. L. Davis et al., *Am. J. Sci.*, 266, № 6 (1968). ¹⁴ Ф. В. Чухров и др., *Изв. АН СССР, сер. геол.*, № 11 (1968).