

УДК 553.31+553.25

ФЕРРИПЛАНТИТЫ В БОКСИТОНОСНОЙ ЛАТЕРИТНОЙ КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПРОВИНЦИИ ФУТА ДЖАЛОН-МАНДИНГО, АФРИКА: ПРИЧИНЫ НАКОПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

© 2020 г. В. И. Мамедов¹, Е. С. Шипилова², Н. М. Боева^{2,*}, А. Д. Слукин², М. А. Макарова^{1,2},
Д. А. Внучков¹, академик РАН Н. С. Бортников²

Поступило 04.10.2019 г.

После доработки 24.10.2019 г.

Принято к публикации 26.10.2019 г.

В результате систематического исследования обширного геологического материала по латеритной коре выветривания (ЛКВ) африканской провинции Фута Джалон-Мандинго был впервые выявлен особый горизонт железистых латеритов – ферриплантитов, залегающий между бокситами и глинами. Охарактеризованы особенности морфологии, распространенности, физико-механические свойства, химический и минеральный составы данных ферриплантитов. Согласно полученным результатам, ферриплантиты формируются под влиянием кислородсодержащих поверхностных вод и являются вполне закономерной зоной коры выветривания, образование которой происходило в зоне колебания зеркала грунтовых вод. Следовательно, существует возможность использовать их как указатель насыщенных кислородом гидрологических обстановок, определяющих и фиксирующих направленность развития профилей ЛКВ.

Ключевые слова: боксит, латеритная кора выветривания, ферриплантит, гиббсит

DOI: 10.31857/S2686739720010053

Бокситоносная латеритная кора выветривания (ЛКВ) представляет собой вертикальный разрез генетически связанных между собой гипергенных пород, состоящий из почвы, латерита, боксита, глины и материнского субстрата. Геохимия железа в латеритном профиле обсуждалась в ряде публикаций [1–3]. Поведение этого металла детально исследовано в железистом покрове (панцире, кирасе, дурикресте, феррикресте, собственно, латерите), расположенном выше боксита. Как ведет себя железо в более глубоких горизонтах латеритной коры и как оно влияет на бокситоносность коры выветривания, остается малоизвестным.

Нами впервые проведено систематическое исследование обширного геологического материала по местам концентрации железа в более глубоких частях латеритного профиля. В Западной Африке расположена крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго [4, 5]. В ней более чем в 1130 месторождениях и проявлениях

бокситов сосредоточена половина мировых ресурсов этого минерального сырья. Подавляющая часть наиболее крупных месторождений провинции была оценена или разведана с участием авторов. Пробурено более 1.8 млн погонных метров скважин общим количеством более 160 тысяч, пройдено более 200 шурфов.

При документации практически всех скважин ниже бокситового горизонта нами впервые был выявлен горизонт железистых латеритов, залегающий между бокситами и глинами. Неравномерное распределение в латеритных профилях алюминия и железа – главная характерная их черта. Это может отражать особенности газового и гидрологического режимов образования бокситов. Нами предпринята попытка понять причину такого поведения железа на основе новейших результатов изучения ферриплантитов Западной Африки.

На рис. 1 приведены геологические разрезы четырех крупных месторождений различных районов провинции Фута Джалон-Мандинго, в профилях которых повсеместно ниже бокситов залегают железистые латериты. Наличие железистого горизонта четко соответствует гидрогеологической зональности и изменениям газового режима в профиле выветривания [6]. Железистые латериты образуются в гидрогеологической зоне коле-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: boeva@igem.ru

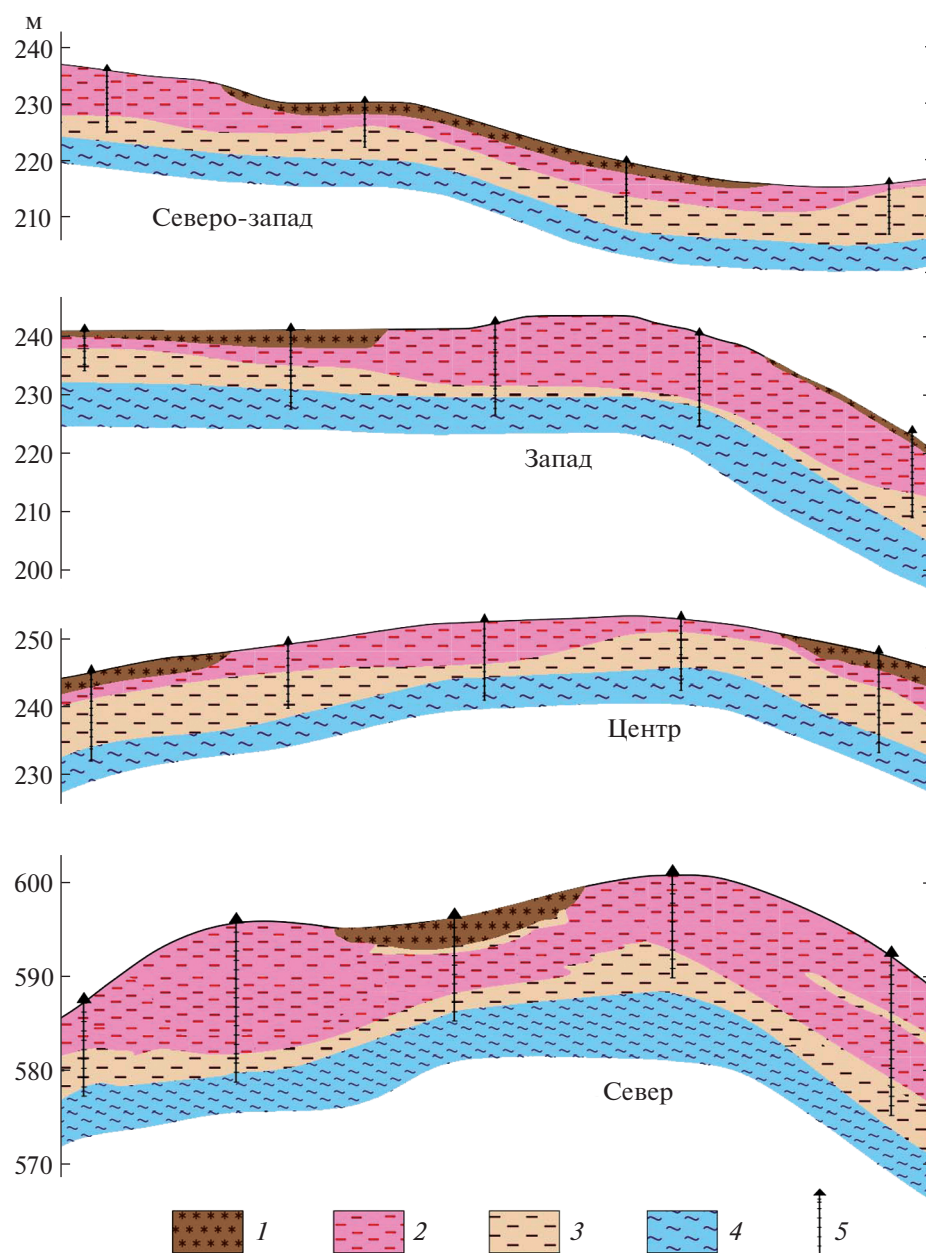


Рис. 1. Типичное строение бокситоносных латеритных покровов на месторождениях из различных районов бокситоносной провинции Фута Джалон-Мандинго. 1 – кираса (верхний железистый горизонт); 2 – бокситы; 3 – железистые латериты с телами ферриплантитов (нижний железистый горизонт); 4 – глины псевдоморфные; 5 – скважины.

бания зеркала грунтовых вод. Их мощность меняется от 1–1.5 м до 7–9 м, но чаще всего составляет 3–4 м.

В горизонте железистых латеритов снизу вверх происходит уменьшение содержания каолинита. Последний замещается гиббситом, его агрегаты становятся насыщенными тонкодисперсным гетитом, алюмогетитом и гематитом. Баланс веществ на изоволюметрической основе (в $\text{кг}/\text{м}^3$), рассчитанный с учетом средних значений по двум десяткам разрезов, указывает на то, что в этой зо-

не коры выветривания происходит мощный принос (абсолютное накопление) железа (на $660\text{--}670 \text{ кг}/\text{м}^3$ по отношению к коренным породам) и менее интенсивный – глинозема (на $200\text{--}220 \text{ кг}/\text{м}^3$). Это явление сопровождается очень значительным выносом кремнезема (до $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$). Соответственно, если в нижней части этой зоны содержание SiO_2 составляет еще 10–15%, то в верхней части его остается не более 3–4% [7].

Повышение содержания железа в этой зоне латеритной коры выветривания приводит к образо-

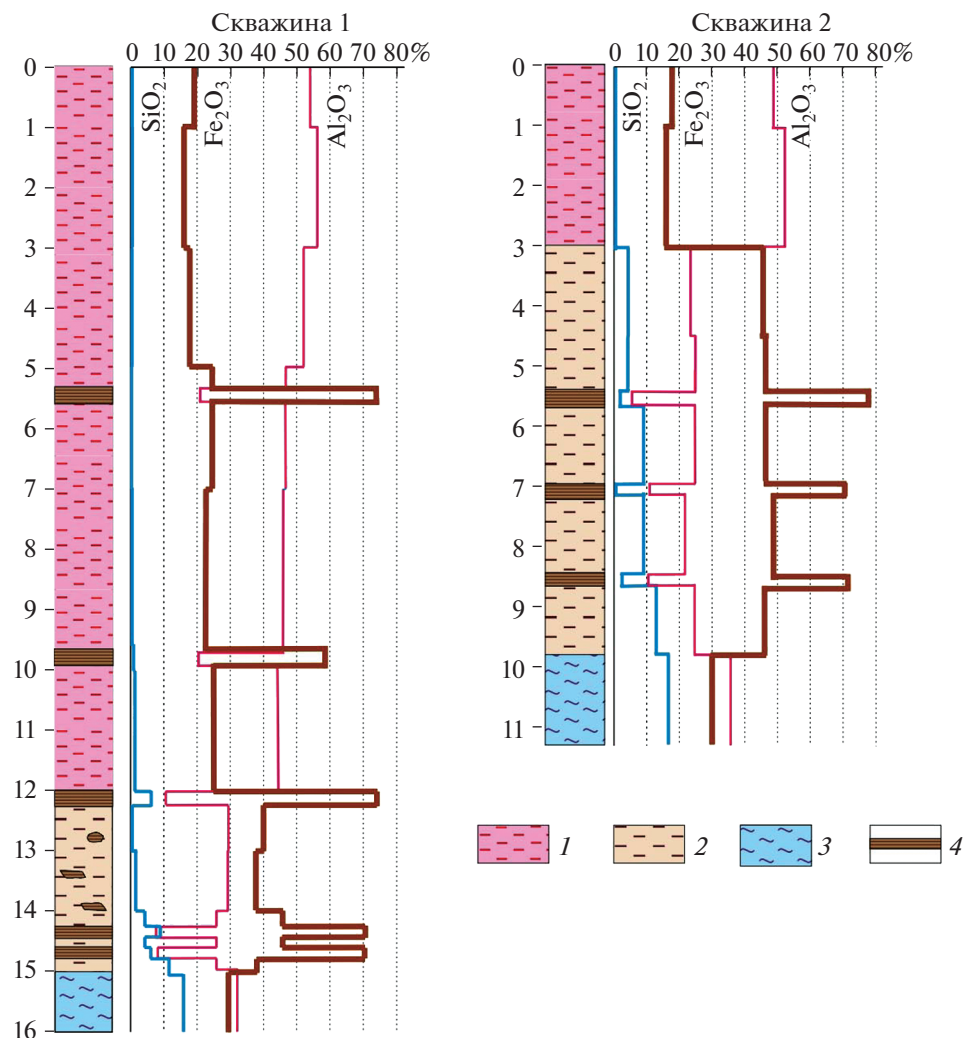


Рис. 2. Литологические колонки и геохимические диаграммы главных химических компонентов в латеритных покровах по долеритам (скв. 1) и алевро-аргиллитам (скв. 2): 1 – бокситы; 2 – железистые латериты; 3 – глины псевдоморфные; 4 – тела ферриплантитов.

ванию плит и линз высокожелезистых пород мощностью от первых сантиметров до полуметра, чаще всего 5–15 см. Эти породы очень крепкие с неясно полосчатой или массивной текстурой табачно-охристого либо сургучно-красного цвета. Для них были определены физико-механические свойства – объемная масса и пористость (32 образца), химический (68 образцов) и минеральный (84 образца) составы.

Объемная масса этих пород изменяется от 2.43 до 3.41 т/м³ и в среднем составляет 2.82 т/м³. Это значение выше объемной массы бокситов (1.92–2.1 т/м³). Они отличаются также низкой пористостью (3.1 до 13.3%), в среднем 8.4%, что значительно ниже средних показателей пористости бокситов (20–30%) [8]. Главное их отличие заключается в очень высоком содержании оксидов и гидроксидов железа (37.5 до 79.4% Fe₂O₃, в среднем 61.5%).

По химическому составу (наличие Fe³⁺) и уплощенной форме тел они были названы ферриплантитами [9]. Пересчет относительных (%) содержаний железа на абсолютные (кг/м³) при максимальных значениях объемной массы показывает, что локальная концентрация Fe₂O₃ достигает 2493 кг/м³. По сравнению с материнскими породами (300 кг/м³ в долеритах и 180 кг/м³ в алевро-аргиллитах) происходит более чем восьмикратное накопление Fe₂O₃. Даже при средних величинах объемной массы и содержаниях в ферриплантитах (2.82 т/м³), концентрация Fe₂O₃ остается очень высокой (1737 кг/м³). Столь интенсивное накопление железа в ферриплантитах и в целом в нижнем железистом горизонте, совпадающем с гидрогеологической зоной колебания зеркала грунтовых вод в профиле коры выветривания, обязано активному окислительному воздействию поверхностных вод. Дождевая вода, которая

Таблица 1. Химический состав ферриплантитов

Глубина	Кол-во	Fe ₂ O ₃			Al ₂ O ₃			SiO ₂			Гётит/Al-гётит			Гематит			Гиббсит/бёмит			Каолинит			
		от	до	ср	от	до	ср	от	до	ср	от	до	ср	от	до	ср	от	до	ср	от	до	ср	
Сургучно-красные																							
0–4	2	37.5			36.0			1.5			3.0	26.0	14.5	6.0	20.0	13.0	42.0	43.0	42.5	0.0	0.0	0.0	
4–8	6	49.6	79.4	64.9	7.7	20.6	14.3	1.0	6.2	3.1	7.0	16.0	10.8	30.0	85.0	57.0	1.5	6.0	3.8	1.0	3.0	1.3	
8–10	3	59.7	71.5	65.7	10.8	18.6	14.7	8.6	8.9	8.7	4.0	9.0	6.6	35.0	86.0	60.3	3.0	8.0	5.0	2.0	7.0	4.3	
>10	2	63.2	74.6	68.9	8.8	9.4	9.1	6.4	18.4	12.4	5.0			9.0			н.о.			9.0			
Табачно-охристые																							
0–4	4	67.2	70.6	68.9	1.6	9.9	5.8	2.5	8.5	5.4	38.0	65.4	54.1	0.5	25.0	13.2	12.0	21.0	15.6	3.0	6.0	4.0	
4–8	12	47.5	77.9	61.8	5.6	28.7	15.4	1.2	10.3	4.1	48.0	89.0	60.5	8.0	25.0	11.8	3.0	30.0	11.8	н.о.	6.0	1.3	
8–10	10	54.3	72.9	64.5	0.8	22.6	12.7	1.4	7.1	4.2	40.0	77.9	60.3	3.0	18.0	6.7	6.0	45.0	17.5	н.о.	6.0	3.4	
>10	14	42.7	70.5	55.1	8.8	29.3	17.0	0.9	13.9	6.4	37.0	66.0	48.0	5.0	35.0	16.7	2.0	27.0	9.5	н.о.	18.0	4.7	

быстро стекает по многочисленным открытым трещинам и каналам к зеркалу грунтовых вод, не успевает прореагировать с вмещающими породами и израсходовать кислород. Это вызывает повышение его содержания в верхних слоях грунтовых вод в ЛКВ. Поровые же растворы медленно просачиваются вниз по разрезу через зону инфильтрации и аэрации, отдают кислород при взаимодействии с органическим веществом и минералами бокситового горизонта. Как показали специальные исследования [10], в сезон дождей именно поровые растворы являются главным реагентом и транспортной средой, обеспечивающими перераспределение химических элементов в коре выветривания. В частности, содержание железа и многих других элементов (более 30) среди которых: Al, Ti, Ga, Zr, Nb, Sc, Th, REE, в поровых растворах на порядок выше, чем в грунтовых водах коры выветривания.

Таким образом, ферриплантиты являются вполне закономерной зоной коры выветривания,

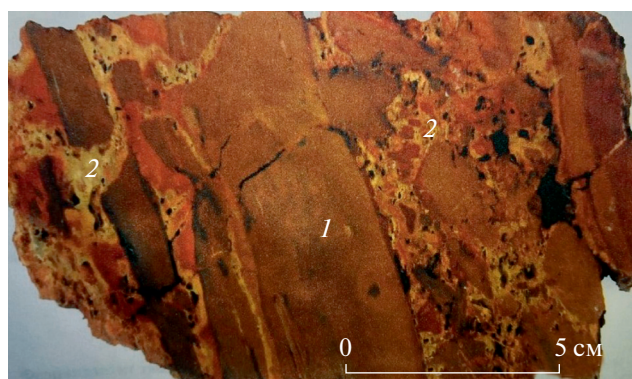


Рис. 3. Фотография ферриплантита: 1 – ферриплантит; 2 – боксит, который замещает ферриплантит.

образование которой происходило в зоне колебания зеркала грунтовых вод бокситоносных ЛКВ провинции Фута Джалон-Мандинго. Этот вывод подтверждается большим числом наблюдений: из более чем 160 тысяч пробуренных скважин ферриплантиты отсутствовали в незначительном количестве пересечений (менее 0.1%).

Линзы ферриплантитов повсеместно наблюдаются и выше по разрезу на разных уровнях в бокситах (рис. 2). Это очень наглядный и важный аргумент в пользу непрерывного развития профиля бокситоносной ЛКВ как гипергенной инфильтрационной метасоматической колонки с наступлением каждой зоны горизонта сверху вниз за счет замещения нижележащих пород. Соответственно, в самом вершине колонки все минеральные фазы неустойчивые, идет химическое и физическое разрушение коры выветривания. В то же время внизу колонки происходит наращивание коры выветривания. Сама природа создает автоматически поддерживающийся процесс, при котором столь эфемерные геологические тела, маломощные и интенсивно трещиноватые, залегающие на верхних поверхностях склонов, могут существовать миллионы лет.

Плиты и линзы ферриплантитов, в отличие от вмещающих их железных латеритов, имеют высокую плотность, малую пористость и водопроницаемость. Благодаря этому при развитии профиля, опускании зеркала грунтовых вод и переходе из гидрогеологической зоны в зону аэрации и инфильтрации – в зону бокситов, они медленнее замещаются глиноземным веществом. Следы этого процесса хорошо проявляются снизу вверх по разрезу. Плиты будинируются, расслаиваются и замещаются бокситом по контактам и трещинам (рис. 3).

Таким образом, ферриплантиты, приуроченные в настоящее время к зоне колебания зеркала грунтовых вод (особенно в ее нижней части), являются молодыми образованиями. Те же линзы и плиты, которые расположены выше зоны колебания зеркала грунтовых вод, соответственно, являются более древними. Состав разновозрастных ферриплантитов изменяется: уменьшается количество кремнезёма, каолинит замещается гиббситом (табл. 1).

Цвет ферриплантитов зависит от их минерального состава: табачно-охристые руды сложены гётитом, сургучно-красные — гематитом.

Таким образом, обнаружение ферриплантитов в бокситовых латеритных покровах провинции Фута Джалон-Мандинго позволило выявить направленность развития профилей ЛКВ, особенности химического и минерального составов. Их выявление играет важную роль при эксплуатации бокситовых месторождений, так как ферриплантиты способствуют разубоживанию руд, снижая в них содержание глинозёма. Необходимо учитывать их физико-механические свойства при проектировании оборудования по добыче и измельчению руд. По-видимому, следует также изучить их влияние на концентрацию ряда микроэлементов в переработанных бокситах и красных шламах. В настоящее время экспорт бокситов из провинции Фута Джалон-Мандинго составляет 60 млн т. в год, а в ближайшее время, к 2023 году, достигнет 125 млн т. в год и выйдет на второе место по добыче после Австралии.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 0136–2018–0025, аналитические исследования проведены в ЦКП “ИГЕМ АНАЛИТИКА”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Beauvais A.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1999. V. 63. № 23/24. P. 3939–3957.
2. *Widdowson M.* / In: Nash, David J. and McLaren, Sue J. eds. *Geochemical Sediments and Landscapes.* Oxford, UK: Wiley-Blackwell. 2007. P. 46–94.
3. *Trolard F., Tardy Y.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1987. V. 51. P. 945–957.
4. *Мамедов В. И., Макстенек И. О., Сума Н.М.Л.* // ГРМ. 1985. Т. XXVII. № 2. С. 72–82.
5. *Мамедов В.И.* Геология и полезные ископаемые Республики Гвинеи-Бисау. М.: Зарубежгеология: 1980. 196 с.
6. *Мамедов В.И., Воробьев С.А.* // Вестн. Моск. ун-та. 2011. Сер. 4. Геология. № 6. С. 28–36.
7. *Mamedov V.I., Boufeev Y.V., Nikitin Y.A.* *Geologie de la Republique de Guinee. Min. des Mines et de la Geologie de la Rep. De Guinee; GEOPROSPECTS Ltd; Univ. d'Etat de Moscou Lomonossov (Fac.) Conakry—Moscou: Aquarel, 2010. 320 p.*
8. *Мамедов В.И., Середкин М.В., Чаусов А.А.* Особенности вещественного состава латеритных бокситоносных кор выветривания Гвинеи // Тр. XIII межд. сов. по геол. россыпей и местор. кор выветривания. Пермь: 2005. С. 158–160.
9. *Мамедов В.И., Чаусов А.А., Канищев А.И.* // ГРМ. 2011. Т. 53. № 3. С. 203–229.
10. *Макарова М.А., Мамедов В.И., Алёхин Ю.В., Шунилова Е.С.* // ДАН. 2019. Т. 489. №1. С. 60–64.

FERRIPLANTITES IN OF BAUXITE LATERITIC WEATHERING ROCKS (PROVINCE FUTA JALON-MANDINGO, AFRICA): KEY FACTORS FOR OF IRON ACCUMULATION

V. I. Mamedov^a, E. S. Shipilova^b, N. M. Boeva^b, A. D. Slukin^b, M. A. Makarova^{a,b}, D. A. Vnuchkov^a, and Academician of the RAS N. S. Bortnikov^b

^a *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

^b *Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Investigation of comprehensive geological material on lateritic weathering crust (Futa Jalon-Mandingo, Africa) led to original identification of a specific horizon of ferruginous laterites, namely ferriplantites, which lie between bauxites and saprolites. For these ferriplantites, morphology, prevalence, physical and mechanical properties, chemical and mineral composition were characterized. According to the obtained results, ferriplantites are formed under the influence of oxygen-containing surface waters, thus ferriplantite beds should appear quite regularly in weathering profiles at the level of ground water table fluctuations. Therefore, it is possible to use ferriplantites as an indicator of oxygen-rich hydrological environments that guide and stabilize the direction of development of the LAB profiles.

Keywords: bauxite, lateritic weathering rocks, ferriplantite, gibbsite