

УДК 553.21

ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ПОЧВЕННОГО И БОКСИТОНОСНОГО ГОРИЗОНТОВ В ЛАТЕРИТНОМ ПРОФИЛЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ (ПРОВИНЦИЯ ФУТА ДЖАЛЛОН-МАНДИНГО, ГВИНЕЙСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

© 2023 г. М. А. Макарова¹, Е. С. Шипилова¹, Н. М. Боева^{1,*},
Д. А. Внучков¹, академик РАН Н. С. Бортников¹

Поступило 04.03.2023 г.

После доработки 30.04.2023 г.

Принято к публикации 04.05.2023 г.

Впервые был проведен гранулометрический анализ латеритных почв и установлены источники вещества, участвующего в образовании зоны деградации в бокситоносном латеритном профиле бокситоносной провинции Фута Джаллон-Мандинго. В ней на каменистых породах латеритных покровов повсеместно залегает почвенный горизонт — самый верхний элемент вертикального профиля коры выветривания. В почвенном горизонте большинство компонентов становятся подвижными, преобладают процессы выщелачивания, происходит мобилизация и перераспределение вещества латеритов. Изучение этих континентальных образований позволило установить генетическую связь почвенного горизонта коры выветривания с подстилающими их бокситовыми рудами, определить степень влияния состава почв на процессы бокситообразования.

Ключевые слова: латериты, кора выветривания, почвенно-растительный горизонт, боксит, Фута Джаллон-Мандинго

DOI: 10.31857/S2686739723600893, EDN: WGWALE

ВВЕДЕНИЕ

В тропических зонах при высокой среднегодовой температуре, большом количестве осадков и переменном-влажном климате происходит миграция продуктов выветривания и их аккумуляция. Образуются мощные коры выветривания. Почвенно-растительный рыхлый слой латеритных кор выветривания является верхней зоной классического латеритного профиля. Его называют зоной деградации или “горизонтом разрушения” [1, 2]. Существуют разные гипотезы образования верхнего горизонта латеритного бокситоносного профиля. Считается, что он образуется в результате деградации нижележащего материала кира-сы — автохтонное происхождение; коллювиации и переработки материала со склонов ландшафта — аллохтонное; имеет смешанное происхождение, совместно с материалом, поступающим из более глубоких горизонтов того же профиля за счет по-

ступления мелких минеральных частиц, в результате деятельности термитов [1].

Предполагается, что термиты вносят существенный вклад в образование латеритов [3]. Почвенно-растительный слой и нижележащие породы пронизаны сетью их ходов, что повышает проницаемость профиля выветривания, способствуя процессу бокситизации [4]. За водой термиты проникают глубоко, и это часто используется как доказательство их способности переносить снизу вверх минеральные частицы [5]. Повышенное содержание кремнезема в почвенном слое объясняют выносом термитами снизу на поверхность для своих построек глинистого и песчаноглинистого материала из литомаржа коры выветривания [6].

Провинция Фута Джаллон-Мандинго (ФДМ) приурочена к ландшафтно-климатической зоне влажных саванн и лесосаванн. Климат на данной территории тропический, переменном-влажный, характеризующийся чередованием дождливого (июнь–октябрь) и сухого (ноябрь–май) сезонов в годовом цикле. Среднегодовая температура колеблется от 24 до 30°C [7, 8]. С конца ноября по середину марта на территорию провинции поступает очень сухой и пыльный, жаркий, иссушаю-

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: boeva@igem.ru

щий северо-восточный харматан [9]. Поскольку ветер проходит через пустыню, он захватывает и приносит в провинцию множество частичек пыли размером от 0.5 до 10 мкм. Климатические условия способствуют увеличению температуры почвенных растворов, что приводит к гидролизу минералов в почвенно-растительном горизонте, их дезинтеграции, образованию полостей и дроблению в результате обрушения. В почвах происходит также образование вторичных минералов — каолинита, гётита, гиббсита и др. [10].

Группа ученых, применивших уравнение баланса массы к химическому анализу профиля выветривания бокситов в Западной Австралии, показали, что обогащение бокситовой руды алюминием может быть обусловлено накоплением ооловой пыли из химически зрелых почв других регионов. Благодаря высокой пористости бокситов, их структура подходит для перемещения минеральных зерен. Ооловая пыль по образующейся сети каналов от корневой системы растений проникает через почву в нижележащие слои, тем самым обогащая руду Al и Fe [11]. Ооловым привнесом также объясняют повышенные содержания в почвах кварца и алюмосиликатных минералов [12, 13].

Бокситоносная провинция ФДМ является крупнейшей в мире. Изучение почвенного горизонта, который является самым верхним элементом вертикального разреза коры выветривания, позволяет определить степень влияния состава почв на процессы бокситообразования. Он сложен сероцветными суглинками, обломками латеритов и бокситов, насыщен корнями и остатками растений. Каменистые латеритные породы в почве и под ней испытывают дезинтеграцию, растворение и перераспределение вещества по трещинам [14].

Высокая насыщенность органическим растительным веществом и микробиотой в условиях периодического насыщения дождевой водой и просушиванием между дождями обуславливает химическую и биохимическую мобилизацию вещества латеритных покровов и его перераспределение.

Рыхлые образования почвенно-растительного слоя представляют собой зону физической мобилизации вещества, влияющую на переотложение и накопление различных генетических типов континентальных образований, определяют возможности локализации механогенно-осадочных залежей бокситов [15].

В нашем исследовании мы анализировали образцы, отобранные в тех частях провинции, где кираса была срезана эрозией и подстилающими породами для почв, служили именно бокситы. Впервые был проведен гранулометрический анализ почв и документально установлены источни-

ки вещества для образования верхнего горизонта бокситоносного латеритного профиля.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бокситоносная провинция Фута Джаллон-Мандинго расположена в крайней западной части Африканского континента. Рельеф территории представляет собой ступенчатое плато, расчлененное глубокими врезами долин рек и ручьев [16, 17]. На плоских, пологоволнистых и полого-ступенчатых вершинах останцов и обособленных водораздельных массивов (бовалей) северо-западных отрогов плато Фута-Джаллон на породах латеритных покровов повсеместно развиты современные почвы изменчивой мощности с чередованием участков травянистой, кустарниковой и лесной растительности.

На залесенных участках, особенно на пологих склонах и перегибах поверхностей бовалей, наблюдается максимальная (до 1.5 м) мощность почвенного горизонта. Это хорошо прослеживается на примере месторождения Вуассо провинции (рис. 1 а, б). На выровненной поверхности бовалей она обычно не превышает 0.1–0.3 м, но в отдельных карманах и западинах увеличивается до 0.5–1 м. Иногда отмечаются линейные зоны (приуроченные к зонам трещиноватости), в которых на склонах бовалей мощность почвенного горизонта увеличивается и достигает 1 м и более.

Верхняя часть почвенного горизонта образована песчано-глинистой массой темно-серого до черного цвета, в которой заключены мелкие остроугольные дресвяные обломки (их доля составляет 10–15%) мелкогравийной размерности неизмененных или ожелезненных бокситов. Приповерхностная часть на глубину до 10–15 см пронизана тонкой корневой системой травянистых растений и реже — деревьев; доля корней может достигать 30–40% и даже до 50% у поверхности. С глубиной постепенно, без резкой границы, почва становится буровато-серой суглинистой. Доля дресвяных обломков галечной и, в меньшей степени, валунов, увеличивается и может достигать 50–60%. Крупность и доля обломков увеличиваются с глубиной. Среди них отмечается значительное количество концентрически зональных железистых стяжений — почвенных железистых пизолитов, размером от первых мм до 1 см, реже 2–2.5 см. В основании почвенного покрова условно выделяется зона, резко обогащенная крупным обломочным материалом: от 20–40 до 70–80% объема составляют ожелезненные округлые обломки и угловатые глыбы бокситов и латеритов размером до 10–15, редко до 40–50 см в поперечнике. Мелкие фракции (заполнитель) представлены суглинисто-супесчаной массой серого

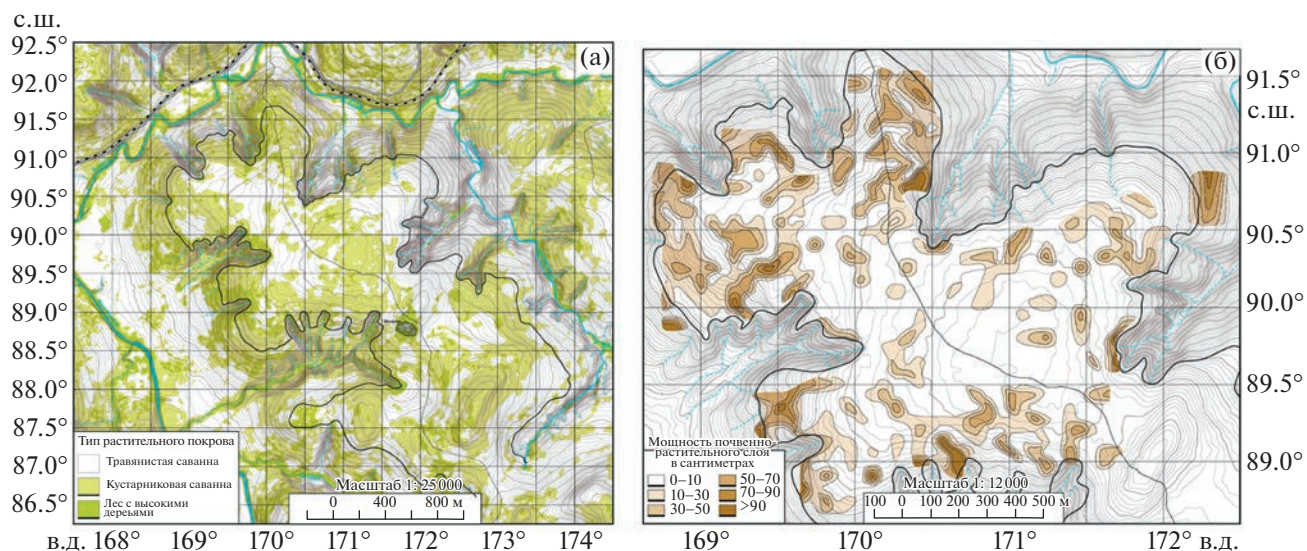


Рис. 1. Карта растительного покрова (а) и карта мощностей почвенного покрова (б) на бовали Вуассо.

или буроватого цвета, схожей с заполнителем средней зоны.

Нижняя граница рыхлых образований крайне неровная, определяется бугристой поверхностью латеритного покрова, осложнена трещинами, карманами и выступами.

Для изучения почвенного горизонта были использованы результаты полевых исследований и лабораторных анализов пород рыхлой вскрыши на ряде бокситовых месторождений в бассейне рек Когон и Тингилинта бокситоносной провинции ФДМ на северо-западе Гвинейской Республики.

Для детального изучения состава и физико-механических свойств пород рыхлой вскрыши и подстилающих бокситов были проведены следующие определения:

- определение объемной массы, коэффициента разрыхления, естественной влажности (определения влажности пород рыхлой вскрыши на месторождениях проводились во второй половине сухого сезона и в первой половине сезона дождей);

- определение гранулометрического состава путем сухого рассеивания через сита на следующие фракции (мм): +100; +50 –100; +25 –50; +10 –25; +5 –10; +2 –5; +1 –2; +0.5 –1; +0.25 –0.5 и –0.25. Из фракции –0.25 мм в лаборатории методом лазерной дифракции на приборе “FRITSCH” ANALYSETTE 22 (Германия) были выделены фракции +0.1 –0.25; +0.04 –0.1 и –0.04 мм.

Лабораторные исследования включали рентгенофазовый анализ с помощью дифрактометра Ultima-IV фирмы “Rigaku” (Япония) и определение химического состава с использованием рент-

генофлуоресцентного спектрометра AxiosAx “RANalytical” (Нидерланды).

Всего было изучено 18 образцов почв, отобранных на 7 месторождениях провинции ФДМ: НДангара (P-1, P-2, P-4, P-6, P-8), Тиapiкоуре (P-18), Боуроре (P-17, P-18), Вуассо (P-20, P-21), Бунде-Вааде (P-11 – P-14), Парави (P-9, P-10), Коби (P-15, P-16).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В составе рыхлых образований повсеместно отмечаются частицы различных фракций и классов крупности – от глыб-валунов (более 100 мм) до алевритистых и глинистых фракций (табл. 1). Однако соотношение различных фракций в изученных пробах изменяется в широких пределах и определяется ландшафтной обстановкой. Выделяются две группы проб:

- Пробы первой группы отобраны в краевых частях бовали, либо на склонах локальных возвышенностей, в их гранулометрическом составе значительную роль (12–45%) играют мелкие (менее 1 мм) фракции. Всего исследовано 11 проб.

- Во вторую группу входят пробы, отобранные на выровненной поверхности бовали. Всего исследовано 7 проб. В гранулометрическом составе таких проб резко преобладают частицы крупнее 8 мм (53–90%). Песчаные и более мелкие фракции (менее 1 мм) имеют резко подчиненное количество (2–5%).

Ландшафтные ситуации не могут быть строго классифицированы в две группы, поэтому описанные два типа проб следует рассматривать как крайние члены ряда, между которыми существуют промежуточные варианты соотношения фрак-

Таблица 1. Гранулометрический состав различных фракций современных рыхлых образований (%)

Фракции, мм	Краевые части и склоны бовали	Выровненная поверхность бовали	Без разделения на ландшафтные обстановки
Крупногравийные, галечные и валунные фракции			
>100	8.2	5.8	7.3
50–100	6.9	10.8	8.4
25–50	10.4	16.3	12.7
12–25	12.5	25.5	24.4
8–12	10.7	16.8	13.4
всего	48.8	75.1	66.2
Грубопесчаные, мелко- и среднегравийные фракции			
5–8	8.9	8.3	13.1
2–5	10.6	7.5	9.6
1–2	3.4	2.0	2.9
всего	22.9	17.8	25.6
Мелко- и среднеспесчаные фракции			
0.5–1	10.0	0.5	6.9
0.25–0.5	6.9	0.8	4.9
<0.25	7.7	2.2	5.9
всего	24.6	3.6	17.7

ций с более равномерным распределением частиц различной крупности и с преобладанием средних фракций от 2 до 8 мм.

Химический состав проб почвенно-растительного слоя, а также сопоставление их с химическим составом подстилающих бокситов приведены в табл. 2. В почвенном горизонте повсеместно происходит увеличение содержания кремнезема и, соответственно, уменьшение содержания глинозема. Следует отметить накопление в почвенном покрове железа, а также незначительное, но довольно устойчивое снижение содержания титана.

Отмеченные закономерности справедливы практически для всех проб, вне зависимости от ландшафтной обстановки, и характеризуют почвенный покров в целом. Однако между различными по крупности фракциями рыхлой вскрыши существуют значительные различия в химическом составе (табл. 2).

Рентгенофазовый анализ показал, что основными минералами почв являются гиббсит, гётит, гематит, кварц, бёмит, анатаз, каолинит, полевой шпат, хлорит, монтмориллонит, ильменит, рутил, гидрослюда. Наиболее важными и характерными межплоскостными расстояниями для изученных минералов являются следующие: гиббсит – 4.82 и 4.34 Å; гётит – 4.18, 2.69, 2.45 Å; гематит – 2.69, 1.69, 2.51 Å; кварц – 3.34, 4.25, 1.81 Å; анатаз – 3.51, 1.89, 2.37 Å; бёмит – 2.34, 1.3, 1.85 Å; каолинит – 7.13, 1.49, 3.56 Å; ортоклаз – 3.18, 3.80, 4.0 Å; хлорит – 6.9, 4.6, 3.5 Å; монтмориллонит – 11.5, 1.49, 4.45 Å,

ильменит – 2.74, 2.53, 1.72 Å, рутил – 1.68, 3.24, 2.48 Å, гидрослюда – 1.48, 2.54, 4.41 Å.

Крупные и средние фракции по своему минеральному составу соответствуют подстилающим бокситам: гиббсита 54.2–61.4 мас. %, бемита 3.7–7.5 мас. %, гематита 2–4.3 мас. %, гётита 3.5–8.2 мас. %, каолинита 2.3–4.2 мас. %, кварца 1.5–2 мас. %, анатаза 1–2 мас. %, рутила 1–2 мас. %.

Важной особенностью минерального состава мелких фракций является наличие в них минералов, не свойственных подстилающим бокситам и не устойчивых в профиле выветривания, таких как хлорит и калиевые полевые шпаты (табл. 3). В заметных количествах (более 5%) появляются глинистые минералы – каолинит и монтмориллонит, также не характерные для верхней части латеритного покрова.

Среди минералов глинозема бёмит преобладает над гиббситом, хотя в исходных бокситах гиббсит более распространен. Это объясняется повышенной растворимостью гиббсита, а также влиянием пожаров [18].

В составе тонкой фракции отмечаются значительные содержания рентгеноаморфной фазы (в отдельных определениях до 55 мас. %) и органического вещества (3.3–4.7 мас. %). Встречающиеся на поверхности термитники представляют собой слоистый серый и грязно-серый материал, мощностью до 15 см, состоящий из каолинита с примесью гумуса.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) материала из различных фракций почвенного покрова (среднее по всем месторождениям) и подстилающих бокситов

Фракция, мм	ландшафтная обстановка	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ППП	RO	R ₂ O	P ₂ O ₅	Σ
боксит	склон (7 обр.)	1.06	51.75	15.97	3.52	26.90				
	вершина (11 обр.)	1.25	48.62	20.47	3.34	25.54				
Крупногравийные, галечные и валунные фракции										
>8	склон	1.35	52.55	17.39	3.34	24.54	0.02	0.02	0.18	99.39
	вершина	1.16	50.42	21.15	2.81	23.62	0.02	0.02	0.23	99.42
Грубопесчаные, мелко- и среднегравийные фракции										
5–8	склон	1.53	48.73	24.80	2.45	21.58	0.02	0.02	0.23	99.35
	вершина	1.83	45.30	33.63	2.45	16.81	0.02	0.01	0.31	99.35
2–5	склон	8.23	44.00	23.98	2.77	19.98	0.05	0.06	0.25	99.32
	вершина	2.73	37.32	40.64	2.43	15.81	0.04	0.04	0.35	99.37
1–2	склон	29.89	32.10	17.57	2.56	16.65	0.17	0.22	0.22	99.38
	вершина	7.11	37.18	35.10	2.39	17.17	0.08	0.07	0.32	99.40
Мелко- и среднепесчаные фракции										
0.5–1	склон	38.75	28.11	12.04	2.41	17.39	0.19	0.28	0.20	99.36
	вершина	24.82	27.43	22.20	2.12	22.31	0.15	0.23	0.25	99.51
0.25–0.5	склон	40.20	27.48	10.84	2.38	17.80	0.19	0.29	0.20	99.36
	вершина	35.76	26.8	13.3	2.31	20.4	0.45	0.34	0.241	99.60
Алевритовые и глинистые фракции										
0.1–0.25	склон	42.99	25.40	9.56	2.28	13.17	0.39	0.29	0.23	94.31
	вершина	42.11	16.60	6.90	1.92	0.28	1.13	0.44	0.47	69.85
0.04–0.1	склон	42.38	24.89	9.29	2.41	18.41	1.20	0.36	0.34	99.27
	вершина	47.53	15.81	5.58	1.66	26.84	1.03	0.41	0.41	99.28
<0.04	склон	50.13	21.72	7.68	2.17	15.66	1.06	0.31	0.40	99.13
	вершина	51.40	14.57	4.99	1.66	24.84	0.87	0.45	0.41	99.19

Примечание. RO = CaO + MgO, R₂O = K₂O + Na₂O**Таблица 3.** Минеральный состав фракций почвенного горизонта (мас. %)

Фракция, мм	Кварц	Бёмит	Гибсит	Анаказ	Каолинит	Гётит	Ортоклаз	Хлорит	Монтмориллонит	Ильменит	Рутил	Гематит	Гидролюда	Рентгеноаморфная фаза
<0.005	5	7	5	2	11	8	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1	н.о.	5	56
0.005–0.04	32.5	5.5	4	2.5	5	3.5	2	1.5	<5	н.о.	н.о.	3	2	39.5
0.04–0.1	27.6	5.8	3	2.4	6.4	3.8	2.8	2.3	н.о.	н.о.	н.о.	2	—	45.6
0.1–0.25	19.8	5	3	2	5.3	4.3	3	1.6	<5	2	н.о.	2	2	55.6

Мелкие и тонкие фракции почвенно-растительного слоя по трещинам заносятся в бокситовый горизонт, часто на значительную (до нескольких метров) глубину. Анализ глинистого материала с корнями растений из каверн на глубине 4.5–5 м показал содержание в нем Al₂O₃

29.5–36.6 мас. %, Fe₂O₃ 10.9–15.1 мас. %, SiO₂ 32.5–36.5 мас. %. Этот материал по своему составу соответствует средне-песчаной фракции.

Гранулометрический состав почвенных образований изменяется в широких пределах и опре-

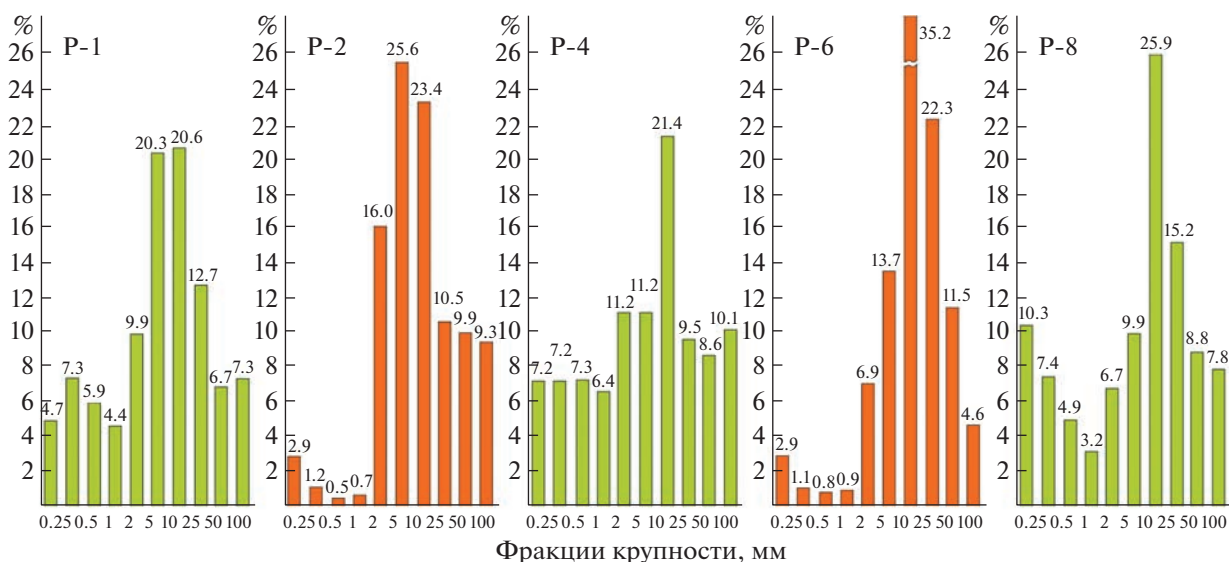


Рис. 2. Различия в гранулометрическом составе проб почвенного покрова различных ландшафтных обстановок на примере месторождения НДангара: P-1, P-4, P-8 — пробы, отобранные на склонах бовали, пробы P-2 и P-6 отобраны на выровненной поверхности бовали.

деляется ландшафтной обстановкой. В краевых частях бовали существенную роль играют мелкие (менее 1 мм) фракции, суммарно достигая 25%, в то время как на выровненной поверхности бовали суммарное содержание мелких фракций не превышает 5% (рис. 2). Наиболее выдержано для всех проб содержание в гранулометрическом составе рыхлых образований материала фракции от 12 до 25 мм (21–24%), представленный в основном почвенными пизолитами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вне зависимости от ландшафтной обстановки в почвенном покрове наблюдается увеличение содержания кремнезема, железа, фосфора и калия. Значительные различия в химическом составе наблюдаются только между фракциями разной крупности (рис. 3).

Грубообломочные фракции (крупнее 8 мм) вне зависимости от ландшафтной обстановки содержат более 47% Al_2O_3 (рис. 3 а), 15–31% Fe_2O_3 (рис. 3 б) и менее 1.5% SiO_2 (рис. 3 в). В целом по составу они отвечают подстилающим породам латеритного покрова (табл. 2). Очевидно, что крупные обломки в рыхлой массе имеют местное происхождение, при их формировании главную роль играют процессы образования элювия, без его существенного перемещения.

Главной особенностью *средне-, мелко-гравийных* и *крупно-песчаных* фракций (1–8 мм) является повышенное содержание в них Fe_2O_3 — до 45%, при этом максимальные значения характерны для проб, отобранных на вершинах бовалей

(рис. 3 б, табл. 2). Значительную роль в формировании состава этих фракций играют почвенные новообразования — железистые пизолиты, которые по размеру, как правило, попадают в мелко- и средне-гравийные фракции.

Для *грубо-песчаных* и *мелко-гравийных* фракций характерно также снижение содержания глинозема до 40% и ниже, вследствие чего они становятся разубоживающими для руды, когда заносятся по трещинам в бокситы. В этих же фракциях отмечается повышение содержания кремнезема, особенно для проб со склонов, до 30%.

Средне- и мелкопесчаные (0.25–1 мм) фракции характеризуются резкой сменой химического состава, выражающейся в первую очередь в увеличении содержания кремнезема — до 42–49 мас. %, а также RO (от 0.02–0.05 мас. % до 0.19–0.36 мас. %, главным образом в хлорите) и R_2O (от 0.04–0.05 мас. % до 0.2–0.4 мас. %, преимущественно в форме калиевого полевого шпата). Содержание Al_2O_3 снижается обычно до 23–30 мас. %. Содержание железа также уменьшается и составляет в среднем 7–19 мас. %.

Таким образом, в составе песчаных фракций играют значительную роль, а зачастую преобладают, элементы и соединения, не характерные для пород латеритного покрова, в первую очередь кремнезем. Очевидно, что накопление песчаных фракций происходит при значительной роли процессов эолового привноса материала.

Мелкие и тонкие фракции (менее 0.25 мм) дополняют описанные закономерности: содержание кремнезема возрастает до 40–43 мас. %, а в тонких фракциях до 53 мас. %; возрастают также

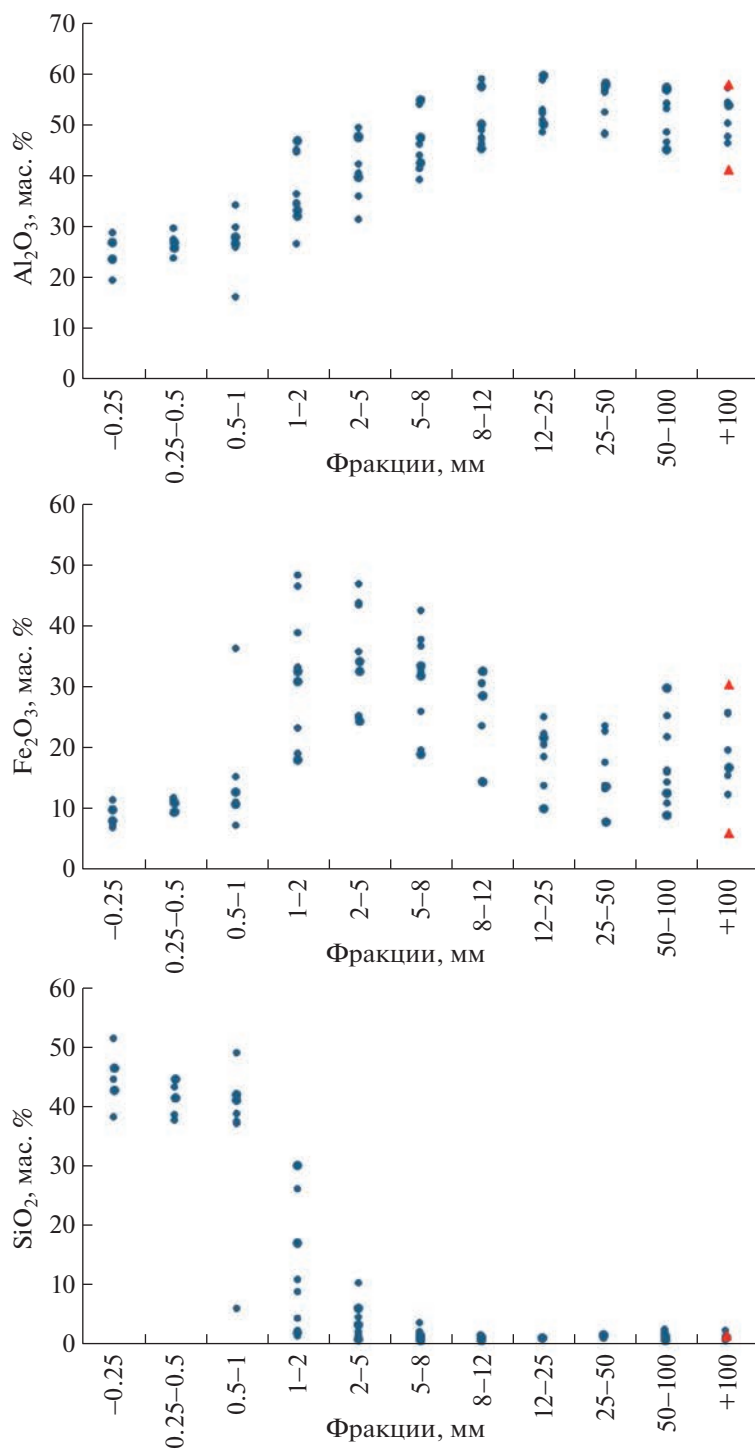


Рис. 3. Химический состав почвенного горизонта различных по крупности фракций и бокситового горизонта: кружочками обозначены пробы почвенного горизонта, треугольниками – пробы бокситового горизонта.

содержания RO (до 0.9–1.2 мас. %) и R_2O (до 0.3–0.4 мас. %); продолжает снижаться содержание глинозема до 21–23 мас. %, а в самых мелких фракциях до 16 мас. %; содержание железа также снижается до 6–8 мас. %.

Компоненты, входящие в состав рыхлых образований, можно условно разделить на три груп-

пы, различные по генезису и приуроченности к тем или иным классам крупности (рис. 4).

В первую группу входят химические компоненты, характерные для подстилающих почвы бокситов (рис. 4 а). Это автохтонный материал – элювий. К этой группе компонентов относятся Al_2O_3 , Fe_2O_3 и TiO_2 . Их повышенные concentra-

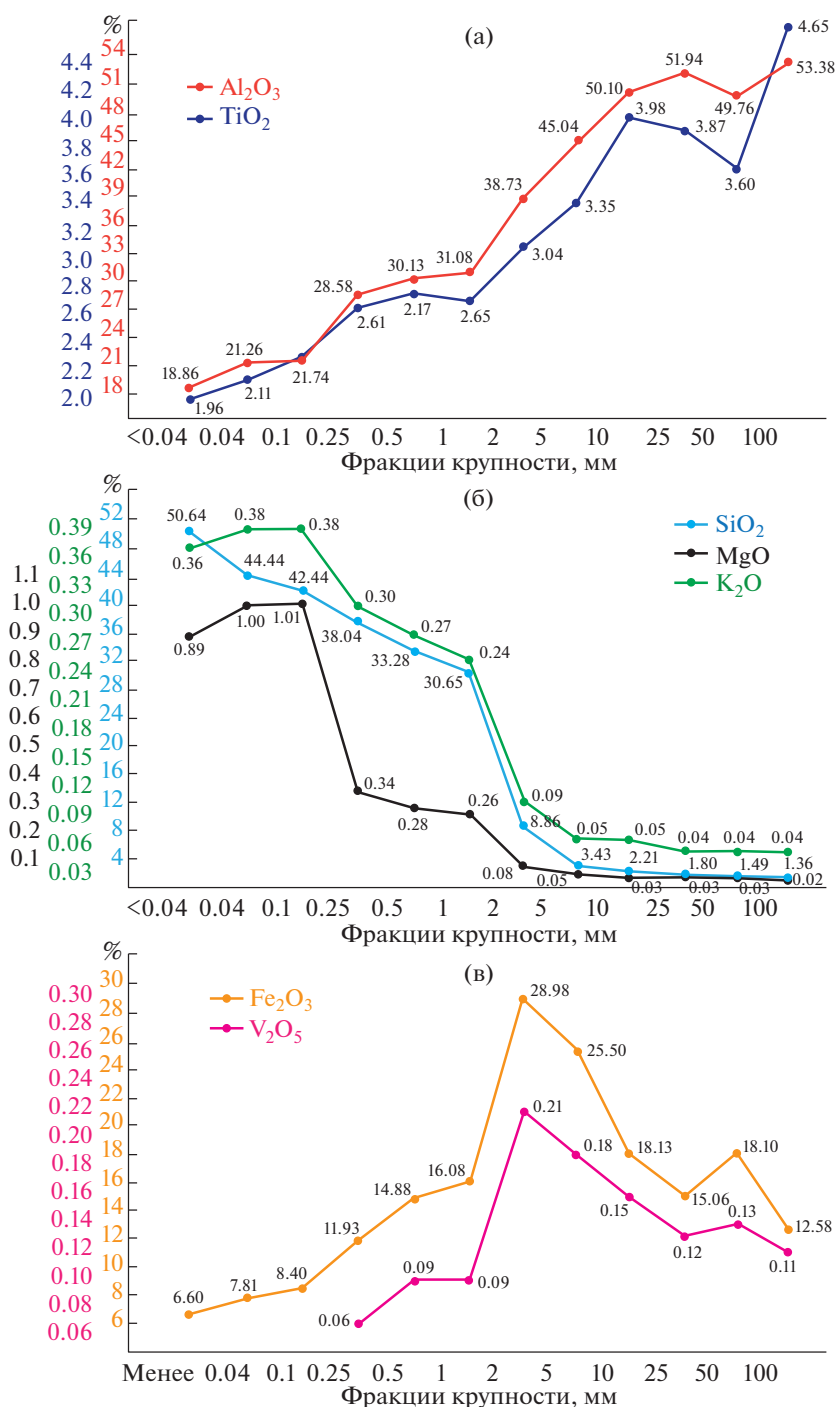


Рис. 4. Распределение химических элементов по различным фракциям. Элементы, связанные с процессами латеритообразования (а), элементы, связанные с эоловым привносом (б), элементы, участвующие в почвенных новообразованиях (в).

ции наблюдаются в крупных фракциях, сложенных обломками каменных пород.

Во вторую группу входят элементы и соединения, не свойственные латеритному покрову: в первую очередь, SiO_2 , а также CaO , MgO и K_2O (рис. 4 б). Эти компоненты накапливаются в мел-

ких фракциях в виде хлорита, калиевого полевого шпата, каолинита и монтмориллонита. Их накопление связано с эоловой деятельностью.

К третьей группе (рис. 4 в) относится та часть железа, которая накапливается в почвенных пизолитах и концентрируется в мелко-гравийной

фракции (2–10 мм). Сюда же входит ванадий. Наряду с органоглинистыми рентгеноаморфными новообразованиями их следует отнести к аутигенной минерализации, связанной с почвенными процессами.

Таким образом, исследования показали, что по своей природе почвенный горизонт латеритного бокситоносного профиля провинции ФДМ относится к континентальным образованиям элювиального и делювиального генетического типа, образующимся за счет физического разрушения и химического выщелачивания подстилающих их каменистых бокситов и латеритов, а также оловому привносу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе полевых и лабораторно-аналитических работ почвенно-растительные образования изучены в различных геоморфологических ситуациях. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. На месторождениях бокситов в провинции ФДМ современные рыхлые образования развиты практически повсеместно. Почвенно-растительный горизонт характеризуется изменчивой мощностью (от первых сантиметров до 1–2 м) и сложной морфологией, в первую очередь неровной нижней границей с подстилающими бокситами.

2. Современные почвенные образования являются полигенными. В их составе выделяются четыре основные составляющие: остаточный элювиальный и элювиально-делювиальный материал железисто-глиноземистого состава, образованный за счет разрушения подстилающих пород латеритного покрова; аллохтонный оловый материал, не характерный для подстилающих латеритов; продукты аутигенной минерализации: железистые пизолиты и железистые оболочки на обломках бокситов и латеритов; новообразования и почвенная регенерация глинистого вещества, связанные с разложением растительной массы, а также с мобилизацией алюминия и кремния при выветривании олового материала; органическое вещество, присутствующее как в виде органических кислот и органогенных соединений, так и в виде фрагментов корневой системы растений.

3. Почвенно-растительные образования, залегающие непосредственно на бокситах и латеритах, представляют собой тыловую зону гипергенной метасоматической колонки, каковой и является латеритная кора выветривания. В почвенном горизонте большинство компонентов становятся подвижными, преобладают процессы выщелачивания, происходит мобилизация и перераспределение вещества. Рыхлые образования первыми вступают во взаимодействие с выпадающими ат-

мосферными осадками, в результате чего перемещаются вниз по разрезу вместе с фронтом инфильтрации дождевых вод латеритов.

4. В силу своего состава, и, прежде всего, повышенного содержания кремнезема и органического вещества, почвенный горизонт частично разубоживают подстилающую их бокситовую руду. По-видимому, большая часть кремнезема в бокситах обязана именно почвенному материалу, занесенному по трещинам в рудное тело.

5. Проведенные исследования позволили установить генетическую связь почвенного горизонта коры выветривания с подстилающими их бокситовыми рудами, определить степень влияния состава почв на процессы бокситообразования. Впервые был проведен гранулометрический анализ латеритных почв и установлено, что источником вещества, участвующего в образовании зоны деградации в бокситоносном латеритном профиле, являются породы, связанные с процессами латеритообразования, элементы, отвечающие оловому привносу, а также участвующие в почвенных новообразованиях.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН № 121041500220-0, аналитические исследования проведены в ЦКП “ИГЕМ АНАЛИТИКА”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tardy Y.* Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Paris: Masson. 1993. 459 p.
2. *Beauvais A.* Ferricrete biochemical degradation on the rainforest–savannas boundary of Central African Republic // *Geoderma*. 2009. V. 150. P. 379–388.
3. *Machado A.B.* Termitic remains in some bauxites // *Laterisation Processes. Proceedings, II International Seminar on Laterisation Processes (São Paulo, Brazil)*. 1983. P. 251–254.
4. *Anand R.R., Aspandiar M.F., Noble R.R.P.* A review of metal transfer mechanisms through transported cover with emphasis on the vadose zone within the Australian regolith // *Ore Geology Reviews*. 2016. V. 73. Part 3. P. 394–416.
5. *Petts A.E., Hill S.M., Worrall L.* Termite species variations and their importance for termitaria biogeochemistry: towards a robust media approach for mineral exploration // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2009. V. 9. P. 257–266.
6. *Якушев В.М.* О влиянии жизнедеятельности термитов на формирование латеритного покрова // *Почвоведение*. 1968. № 1. С. 113–115.
7. *Мамедов В.И., Чаусов А.А., Оконов Е.А., Макарова М.А., Боева Н.М.* Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Часть 1: общие сведения // *Гео-*

- логия рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 2. С. 178–192.
8. *Mamedov V.I., Boeva N.M., Makarova M.A., Shipilova E.S., Melnikov F.* The Problem of the Formation of Boehmite and Gibbsite in Bauxite-Bearing Lateritic Profiles // *Minerals*. 2021. V. 12. P. 389.
 9. *Прох Л.З.* Словарь ветров // Ленинград: Гидрометеиздат. 1983. С. 218.
 10. *Турсина Т.В., Соколов И.А.* Макро- и микроморфологическая диагностика генезиса ферраллитных тропических почв Лаоса // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2008. Вып. 62. С. 22–35.
 11. *Brimhall G.H., Lewis C.J., Ague J.J., Dietrich W.E., Hampel J., Teague T., Rix P.* Metal enrichment in bauxites by deposition of chemically mature aeolian dust // *Nature*. 1988. V. 333. P. 819–824.
 12. *Абрамов Р.В.* Пыль в атмосфере над Атлантическим океаном / Условия седиментации в Атлантическом океане. М., Наука. 1971. С. 7–31.
 13. *Mainguet M., Borde J.-M., Chemin M.-C.* Sédimentation éolienne au Sahara et sur ses marges. Les images Météosat et Landsat, outil pour l'analyse des témoignages géodynamiques du transport éolien au sol / *Travaux de l'Institut Géographique de Reims*, № 59–60. 1984. P. 15–27.
 14. *Макарова М.А., Мамедов В.И., Боева Н.М., Шипилова Е.С., Внучков Д.А., Бортников Н.С.* Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джаллон-Мандинго (Западная Африка). Часть 4: механизм образования зональности в латеритных бокситоносных корах выветривания // *Геология рудных месторождений*. 2023. Т. 65. № 3. С. 1–17.
 15. *Мамедов В.И., Чаусов А.А., Макарова М.А.* Возможность механогенно-осадочного образования бокситов высокого качества // *Вестник Московского университета. Серия 4, Геология*. 2020. № 2. С. 80–89.
 16. *Mamedov V.I., Shipilova E.S., Boeva N.M., Slukin A.D., Makarova M.A., Vnuchkov D.A., Bortnikov N.S.* Ferriplantites in the Bauxite-Bearing Lateritic Weathering Rocks (Futa Jallon-Mandingo Province, Africa): The Key Factors for Iron Accumulation // *Doklady Earth Sciences*. 2020. V. 491. № 2. P. 204–209.
 17. *Shipilova E.S., Mamedov V.I., Boeva N.M.* Mineralogical and Petrographic Features of the Lower Horizon of Ferruginous Laterites and Ferriplantites of the Fouta Djallon–Mandingo Province (Guinea, West Africa) // *Geology of Ore Deposits*. 2022. V. 64. P. 106–124.
 18. *Weisse G de.* Bauxite lateritique et bauxite karstique // *Symp. Bauxites, Oxydes, Hydroxydes d'aluminium*. Zagreb. 1964. V. 568. № 1. P. 7–29.

SOURCES OF SUBSTANCE AND GENETIC RELATION OF SOIL AND BAUXITE BEARING HORIZONS IN THE LATERITE PROFILE OF THE WEATHERING CRUST (OF THE FUTA JALLON-MANDINGO PROVINCE, REPUBLIC OF GUINEA)

**M. A. Makarova^a, E. S. Shipilova^a, N. M. Boeva^{a, #},
D. A. Vnuchkov^a, and Academician of the RAS N. S. Bortnikov^a**

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

[#]*E-mail: boeva@igem.ru*

For the first time, a granulometric analysis of lateritic soils was carried out and the sources of the substance involved in the formation of the degradation zone in the bauxite-bearing laterite profile of the bauxite-bearing province of Futa Jallon-Mandingo were identified. Throughout the province, on the stony rocks of the lateritic covers, the soil horizon occurs everywhere - the uppermost element of the vertical profile of the weathering crust. In the soil horizon, most of the components become mobile, leaching processes predominate, and laterites are mobilized and redistributed. The study of these continental formations made it possible to establish the genetic relationship between the soil horizon of the weathering crust and the underlying bauxite ores, and to determine the degree of influence of soil composition on the processes of bauxite formation.

Keywords: lateritic weathering crust, soil-vegetation horizon, bauxite, genetic connection, source of substance, Futa Jallon-Mandingo