

УДК 553.492.1; 582.23

МИКРОБИОТА БОКСИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЕВА (ГВИНЕЯ-БИСАУ)

© 2019 г. А. Ф. Георгиевский^{1, *}, Е. А. Жегалло^{2, **}, В. М. Бугина^{1, ***}

¹ Российский университет дружбы народов
Россия, 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

² Палеонтологический институт им. А. А. Борисяка РАН
Россия, 117647 Москва, ул. Профсоюзная, 123

*E-mail: georgievskiy_af@rudn.university

**E-mail: ezheg@paleo.ru

***E-mail: bugina_vm@rudn.university

Поступила в редакцию 16.10.2017 г.

Важная роль биогенного фактора в осадочном рудогенезе сейчас, по истечении более чем столетнего периода после публикаций работ В. И. Вернадского и Я. В. Самойлова, стала для всех неоспоримым фактом. Дискуссии, в основном, разворачиваются относительно того, насколько созидательной была деятельность организмов при формировании конкретных полезных ископаемых. В 2004 г. вышла в свет коллективная монография российских геологов “Биоморфные структуры бокситов”. В ней, на примере десятков месторождений огромного стратиграфического диапазона от позднего протерозоя до четвертичного периода и широкого географического распространения (Африка, Евразия, Австралия, Америка), было показано активное участие в бокситообразовании различных микробных сообществ. Выполненное электронно-микроскопическое изучение руд малоизвестного в России бокситового месторождения Ева продолжает исследования по данной тематике, инициатором которых был Э. Л. Школьник.

Ключевые слова: бокситы, бокситообразование, микробиота, бактерии, биоморфозы, ультрамикроструктуры.

DOI: 10.31857/S0024-497X20196557-567

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Месторождение латеритных бокситов Ева расположено в слабо освоенной южной части Гвинее-Бисау и принадлежит крупнейшей в мире Либерийской бокситоносной провинции, покрывающей площадь одноименного древнего щита на западе Африканской платформы. Здесь сосредоточены грандиозные, по запасам и качеству, скопления латеритных и переотложенных (осадочных) бокситов с ресурсами, превышающими 15 млрд т [Михайлов, 1966; Селивестров, 1983]. Как правило, бокситы выходят на дневную поверхность или, в редких случаях, перекрываются маломощным делювием. Геологами регион рассматривается в качестве модели для изучения процессов латеритного бокситообразования, которое, по мнению многих исследователей, продолжается и до настоящего времени. Этому способствует благоприятный жаркий, влажный климат, сочетающийся со спокойным тектони-

ческим режимом и широким развитием пород, богатых глиноземом.

Породы Либерийского щита слагают выступ архейского фундамента, сложенного амфиболитами, гнейсами, мигматитами, гранитами, железистыми кварцитами. Развитый по периферии щита осадочный чехол состоит из отложений верхнего протерозоя (сланцы, песчаники, иногда карбонатные породы), кембрия (кремнисто-глинистые сланцы), ордовика (песчаники), силура (граптолитовые сланцы) и девона (сланцы, песчаники). Залегание пород пологое (2–3°), что отражает их приуроченность к крыльям Западно-Гвинейской синеклизы — одной из основных структур осадочного чехла Либерийского щита.

Регион представляет собой гористую область, значительную часть которой занимает вытянутый в меридиональном направлении хребет Фута Джаллон. Последний состоит из разновысотных “столовых” вершин, чьи



Рис. 1. Месторождение Ева (черный треугольник) на карте Гвинеи-Бисау (www.dic.academic.ru.)

плоские поверхности местные жители называют “бовали”. Такие бовали представляют собой сохранившиеся фрагменты древних пенепленов, существовавших в конце раннего мела, середине эоцена и в миоцен-плиоценовое время [Селиверстов, 1973]. Высота мезозойской (верхнемеловой) пенепленовой поверхности — около 1500 м, абсолютные отметки кайнозойских уровней укладываются в пределы 250–600 м.

Площадь плосковершинных бовалей изменяется от первых до нескольких десятков км². Часть бовалей бронируется мезозойскими диабазо-базальтами, другие — обнажены, и тогда латеритному выветриванию, наряду с базальтами, подвергаются палеозойские терригенно-глинистые толщи.

Латеритизация развита на всех трех отмеченных поверхностях выравнивания, но наиболее мощно она проявлена в пределах нижнего миоцен-плиоценового уровня, к которому приурочены практически все месторождения бокситов региона.

Перспективы экономического развития Гвинеи-Бисау связывают с освоением бокситовых месторождений юга страны, самым крупным из которых является месторождение Ева в северо-западных отрогах хребта Фута Джаллон административного района Бое (рис. 1).

Месторождение Ева с запасами 16 млн т [Шибистов, 2004] представляет собой эродированный останец, с поверхностью выравнивания, оконтуренной изогипсой +256 м. В плане останец-боваль, общей площадью около 8 км², имеет неправильную трехлопаст-

ную форму. Склоны бовалья крутые и лишены коры выветривания. С востока он ограничен долиной реки Фефине, с остальных сторон — ее притоками. От периферии к центральной части поверхность бовалья полого воздымается до высоты 20 м и по всей площади бронируется бокситами. Бокситы развиваются по субгоризонтально залегающим силурийским и девонским терригенно-глинистым отложениям.

Как и на других месторождениях стран гвинейского региона [Мамедов и др., 1985], в строении бокситового латеритного профиля месторождения Ева выделяются снизу—вверх четыре зоны: а) слюдистая (зона дезинтеграции); б) каолининовая (зона литомаржа); в) гиббсит-каолининовая; г) гетит-гиббситовая (бокситовая зона). Первые две зоны соответствуют начальному гидролизу первичных пород с выносом щелочных и щелочноземельных элементов, а также, частично, Si. В остальных верхних зонах на завершающих этапах гидролиза происходит полное разрушение глинистых компонентов и формирование вторичных скрытокристаллических гиббситовых, железистых и титанистых минералов, иногда с примесью (до 4%) бемита. Максимальная концентрация гидроокислов железа наблюдается в самых верхах разреза, в некоторых случаях здесь присутствует маломощный горизонт железистой кирасы (0.1–0.15 м).

Таким образом, бокситы завершают разрез латеритного профиля и представлены, как правило, гиббситовыми разностями. По химическому составу бокситы высококачественные с кремневым модулем (A_2O_3/SiO_2) более 25. Встречаются бокситы плотные и рыхлые, нередко в них сохраняются реликты полосчатой текстуры сланцев. Обломочно-пизолитовые разновидности бокситов распространены крайне ограниченно. Средняя мощность бокситовой зоны — 6.7 м, а всей коры выветривания — 17–20 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование особенностей формирования латеритного профиля проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) марки TESCAN VEGA II XMU (фирма “Tescan”). Пробы пород были любезно

предоставлены Корреа Гомеш Ж. Для аналитических целей использовался микроанализатор INCA ENERGY (фирма Oxford Instruments Analytical), присоединенный к СЭМ. Предварительно были выполнены микроскопические исследования (поляризационный микроскоп ПОЛАМ Л-213 М). Для диагностики минеральных фаз привлекался рентгеновский дифрактометр ДРОН-4, снабженный пакетом дифрактометрических стандартов ASTM. Определения проводились в лаборатории физических методов исследования руд и минералов РГГРУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зона литомаржа. Как показывают данные электронной микроскопии, присутствие микробиоты становится заметным уже в зоне литомаржа, где нередко сохраняется характерная для сланцев реликтовая полосчатость. Последняя особенно четко проявляется при неравномерной послойной окраске пород бурыми гидроокислами железа, развивающимися по тонкодисперсному пириту. Признаки исходной минеральной матрицы устанавливаются на электронных микрофотографиях по сохранившейся однородной ориентировке реликтовых частиц слюды (рис. 2).

В целом в породах зоны литомаржа доминирует новообразованный каолинит, а в верхней части этой зоны постоянным компонентом становится также гиббсит (рис. 3). Кроме этих минералов, в породах присутствуют терригенные зерна кварца и полевых шпатов алевритовой размерности, что устанавливается при микроскопическом изучении шлифов.

Важнейшей составной частью пород является разнообразный комплекс минерализованной микробиоты, представленной гифами низших грибов и нитями актиномицетов, кокковидными, нитчатыми и палочковидными бактериями, а также фрагментами минерализованных биопленок (гликокаликса). Перечисленные образования постоянно присутствуют в глинах, однако распространены в них неравномерно: встречаются как одиночные экземпляры, так и участки массового развития. К последним относятся, как правило, трещинки и поры в породах (рис. 4), вдоль которых фильтруются поверхностные воды, создающие

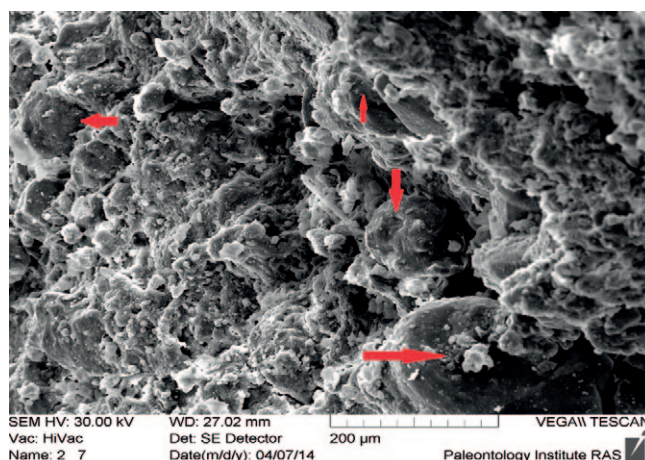


Рис. 2. Реликтовая чешуйчатая структура глин, нарушенная сформировавшимся микробным сообществом (зона литомаржа), СЭМ.

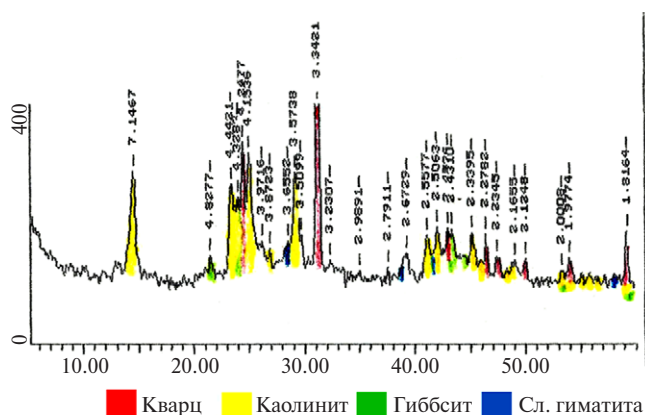


Рис. 3. Дифрактограмма образца глин из зоны литомаржа (отражения: каолинит — 7.14, 4.44, 4.15, 3.57, 2.55, 2.30, 2.33Å, кварц — 4.24, 3.34, 2.23, 2.12, 1.81Å, гематит — 3.65Å, гиббсит — 4.82, 2.43Å).

благоприятную среду для обитания микроорганизмов. Наблюдается отчетливо выраженная связь между плотностью поселения микробных сообществ и степенью деструкции глинистой массы (см. рис. 2, 4б). По-видимому, в авангарде этого процесса следуют низшие грибы, которые вместе с актиномицетами и другими нитчатыми бактериями глубоко проникают в отверстия между слюдыстыми чешуйками (рис. 5а, 5б), образуя вокруг них тонкие пленки, состоящие из переплетения трихом и гифов. Развивающиеся между ними скопления палочковидных и кокковых микроорганизмов, очевидно, усиливают деструкционный эффект (см. рис. 5а, рис. 6а, 6б).

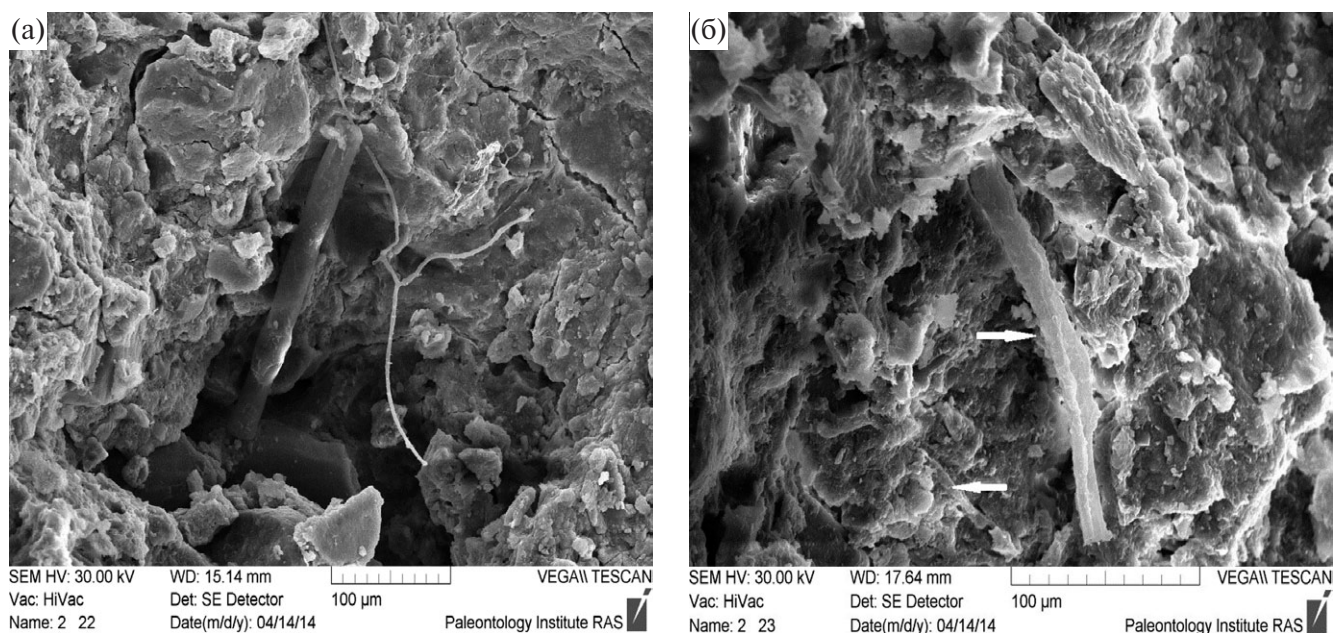


Рис. 4. Палочковидные биоморфозы в порах (а) и фрагмент бактериального сообщества, состоящего из минерализованных нитей (б) в глинистом матриксе породы из зоны литомаржа (СЭМ).

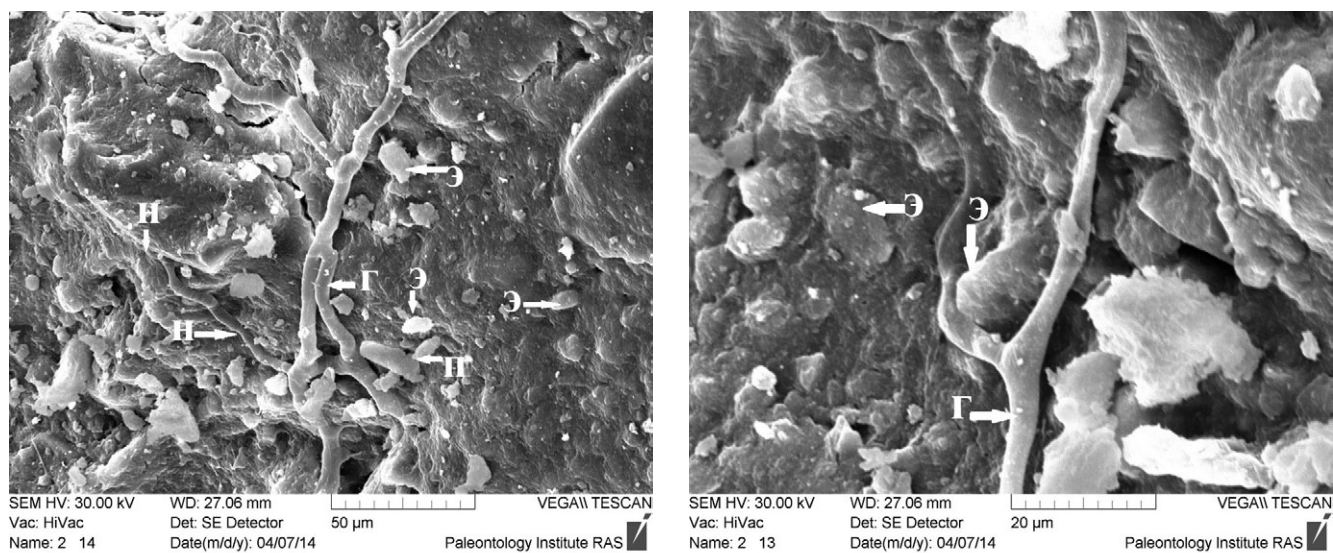


Рис. 5. Минерализованные гифы низших грибов (г) и нитевидные бактериальные формы (н), проникающие между глинистыми частицами. Видны палочковидные (п) и эллипсоидальные биоморфозы (э) (зона литомаржа) (СЭМ).

Встречаются кокки шарообразные и приплюснутые, одиночные и в виде цепочек-бус (стрептококки). Большая часть кокков находится внутри остатков биоты (см. рис. 6а, 6б). Это свидетельствует о сложной, многоэтапной истории формирования микробного сообщества, что подтверждается различной сохранностью и особенностями минерализации микроорганизмов. Наиболее высокоминерализованные формы, по-видимому, принадлежат рано поселившимся в породе микроорганизмам, тогда как остатки более поздних групп слабо изменены и сохранили первичные морфологические признаки (см. рис. 4, 5а, 5б, 6а, 6б), что проявляется как в отношении довольно крупных (см. рис. 6а, 6б), так и микроскопических биоморфоз (рис. 7а).

Встречаются кокки шарообразные и приплюснутые, одиночные и в виде цепочек-бус (стрептококки). Большая часть кокков находится внутри остатков биоты (см. рис. 6а, 6б). Это свидетельствует о сложной, многоэтапной истории формирования микробного сообщества, что подтверждается различной сохранностью и особенностями минерализации микроорганизмов. Наиболее высокоминерализованные формы, по-видимому, принадлежат рано поселившимся в породе микроорганизмам, тогда как остатки более поздних групп слабо изменены и сохранили первичные морфологические признаки (см. рис. 4, 5а, 5б, 6а, 6б), что проявляется как в отношении довольно крупных (см. рис. 6а, 6б), так и микроскопических биоморфоз (рис. 7а).

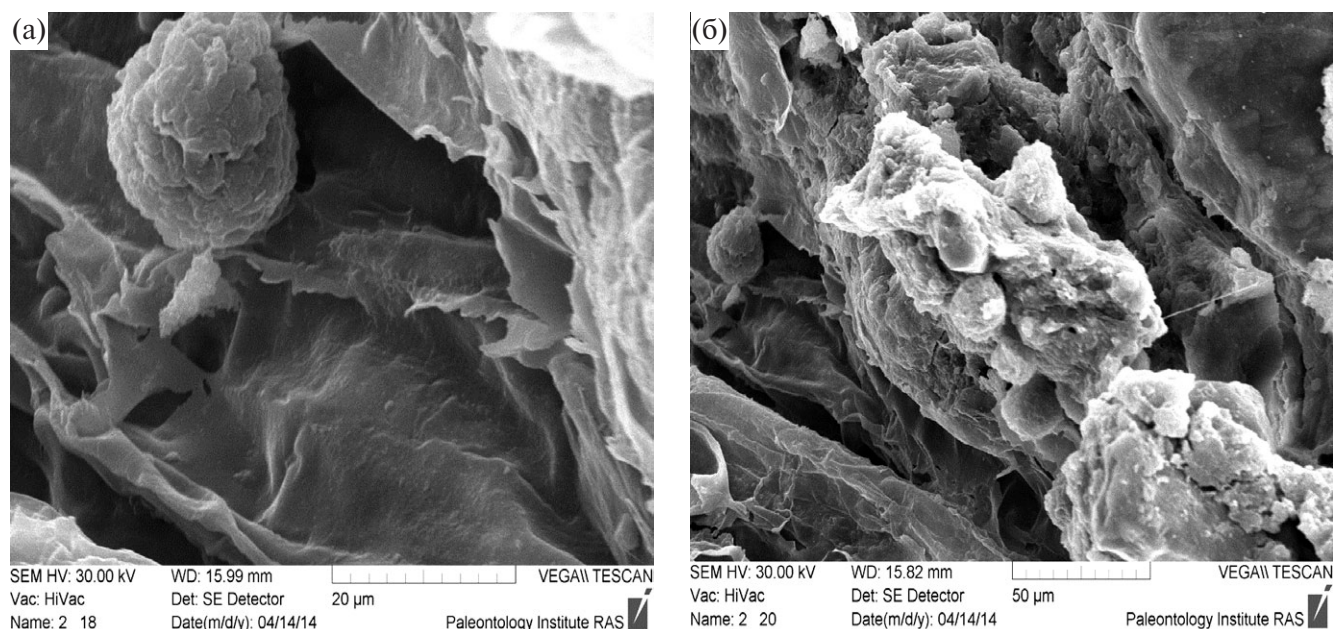


Рис. 6. Фрагменты минерализованных трубчатых биогенных образований с хорошо сохранившимися внутри них одиночными (а) и сросшимися (б) кокками (зона литомаржа), СЭМ.

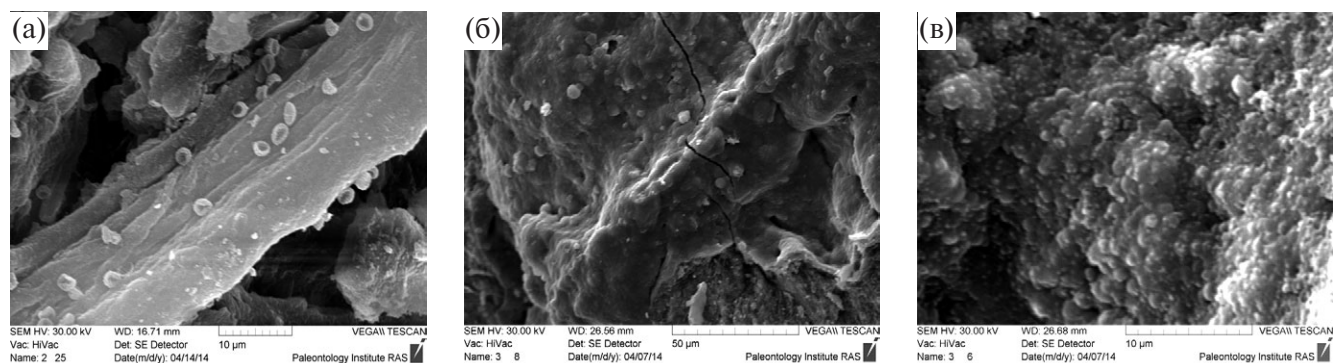


Рис. 7. Чашеобразные биоморфы на пучке трихомов нитчатых бактерий (а) и минерализованная биопленка с остатками коккоидных форм (б, в — увеличено) в породах зоны литомаржа, СЭМ.

Таким образом, уже на начальной стадии латеритного выветривания в отложениях формировались и активно развивались сложноорганизованные сообщества микроорганизмов, состоящие из различных, в том числе генетически связанных микробных комплексов. Как показали недавние микробиологические исследования, подобные сообщества в естественных средах обычно бывают окружены защитной слизистой пленкой белков и полисахаридов [Рыбальченко, 2003]. Это наблюдение является ключевым для понимания структур, изображенных на рис. 7б, 7в, и позволяет считать их фрагментами минерализованных биопленок, окружавших микробные сообщества.

Зона гиббсит-каолинитовая. Особенно отчетливо проявляется разрушающая деятельность микробиоты в верхней части глинистого латеритного профиля, в которой, по данным рентгенофазового анализа, широко развит гиббсит (гиббсит-каолинитовая зона). Здесь микробиота активно преобразует не только глинистое вещество, но и терригенные алевитовые частицы. Вокруг каждой из них формируется плотный покров, состоящий из густо переплетенных биогенных нитей (рис. 8а), при развитии которого происходит растворение алюмосиликатного и кремнистого вещества (см. рис. 8б, 8в). Как показали электронно-микроскопические исследования, этот процесс

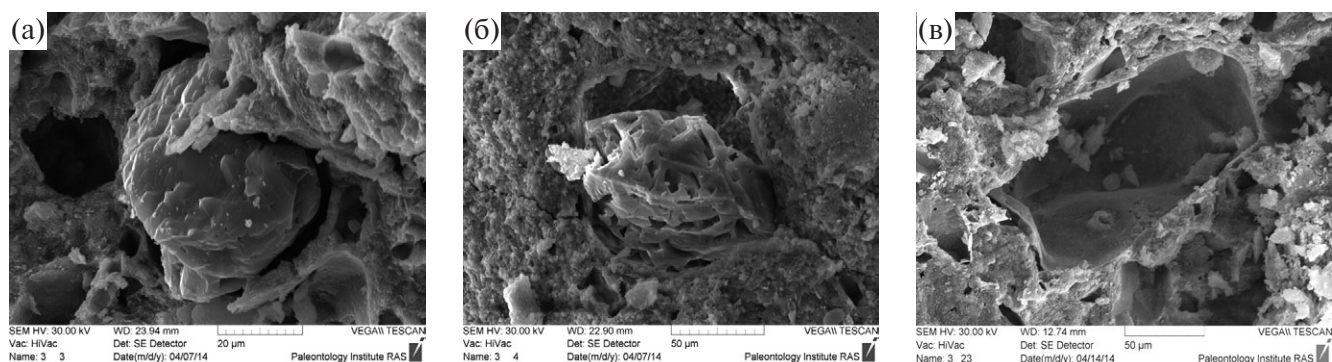


Рис. 8. Обломочные зерна в начальной (а), средней (б), и завершающей (в) фазах коррозии бактериальным покровом нитевидных микроорганизмов, в дальнейшем подвергшихся минерализации (гипбсит-каолининовая зона), СЭМ.

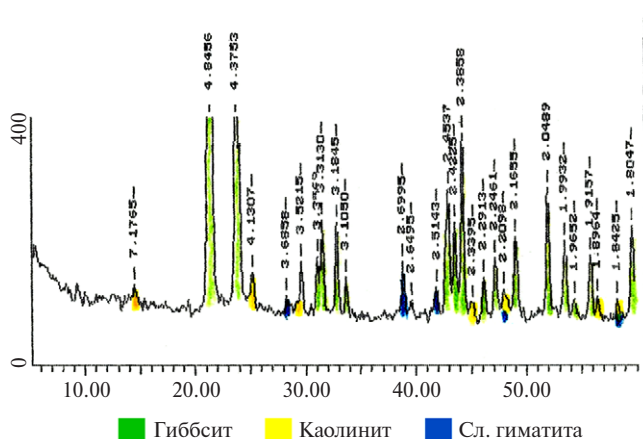


Рис. 9. Дифрактограмма образца боксита (отражения: гипбсит — 4.84, 4.37, 3.31, 3.18, 3.10, 2.45, 2.38, 2.16, 2.04, 1.80Å; каолинит — 7.14, 4.13, 3.52, 2.33, 2.20, 1.89Å, гематит — 3.68, 2.69, 2.51Å) из гетит-гипбситовой зоны.

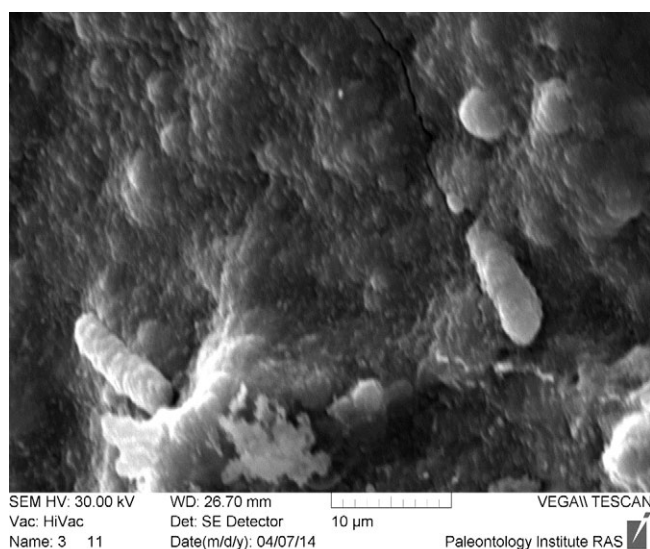


Рис. 10. Минерализованная биопленка с остатками палочковидных и мелких кокковидных бактерий (гетит-гипбситовая зона), СЭМ.

завершается практически полным разложением обломочных зерен, но с сохранением их внешних контуров, подчеркнутых присутствием минерализованных бактериальных оболочек (см. рис. 8в). Можно предполагать, что наиболее интенсивно разлагаются полевошпатовые зерна, и менее активно — кварцевые частицы. Возможность реализации этого процесса обсуждалась отечественными и зарубежными микробиологами [Огурцова, 1997; Авакян, 1985; Алексеева и др. 2009; Каравайко, 2004; Яхонтова и др., 1983; Bennett et al., 2004; Silverman et al., 1970; Song et al., 2007 и др.].

Было показано, что многие микроорганизмы, дрожжи и бактерии способны трансформировать алюмосиликатные и бокситовые минералы, приводя к выносу Si, Fe и, в меньшей степени, Al. Результативность этих процессов зависит от родовых, видовых и штаммовых особенностей микроорганизмов, а также от состава пород.

Зона гетит-гипбситовая (бокситовая). Наиболее масштабно проявляется деятельность микробиоты в гетит-гипбситовой (бокситовой) части разреза латеритного профиля, где, по данным рентгенофазового анализа, в минеральном составе пород доминирует гипбсит (рис. 9). Здесь набор микробиоты в целом остается прежним, однако резко возрастает концентрация палочковидных и кокковидных биоморфов. Обычно они образуют колониальные скопления, окруженные минерализованными биопленками. Степень сохранности варьирует от бесспорно микробиальных остатков (рис. 10, рис. 11а, 11б) до гипбситовых выделе-

ний с плохо сохранившимися признаками биогенного происхождения (рис. 12а, 12б).

Гиббситовая минерализация, помимо выполнения биоморфоз, также представлена скрытокристаллическими, таблитчатыми, столбчатыми, радиально-волокнистыми и пластинчатыми фазами (рис. 13, рис. 14). Абсолютно доминирует скрытокристаллическая гиббситовая фаза, именно она слагает матрицу бокситов. Остальные типы кристаллических агрегатов имеют ло-

кальное распространение и строго связаны с поровым пространством породы.

Анализ электронных микрофотографий показывает, что пористость является важным элементом структуры бокситов. В них распознаются три системы пор, особенности развития которых указывают на участие в бокситообразовании как биогенных, так и абиогенных минералообразующих процессов. Первая система пор сопровождается развитием в них

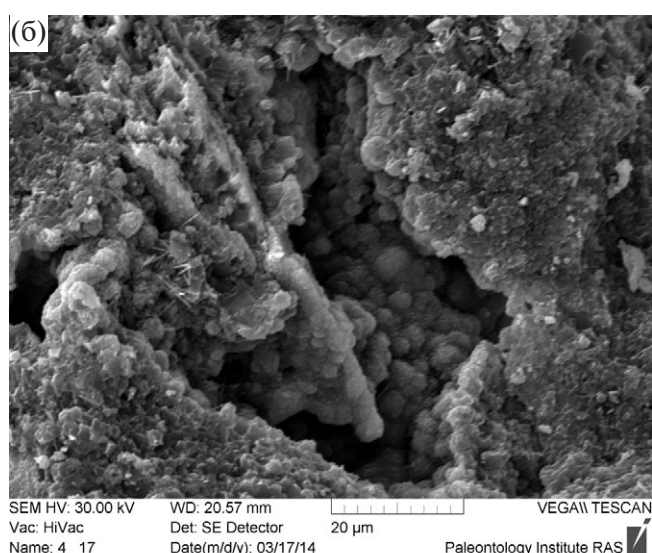
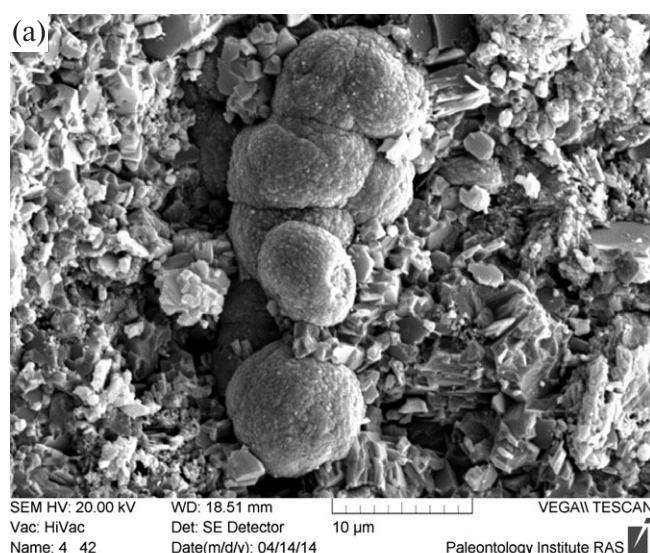


Рис. 11. Биоморфозы хорошей сохранности в бокситах: гроздевидные обособления коккоидных бактерий (стафилококки) (а) и фрагменты нитчатых бактериальных тел на фоне скопления мелких кокков (б); гетит-гиббситовая (бокситовая) зона, СЭМ.

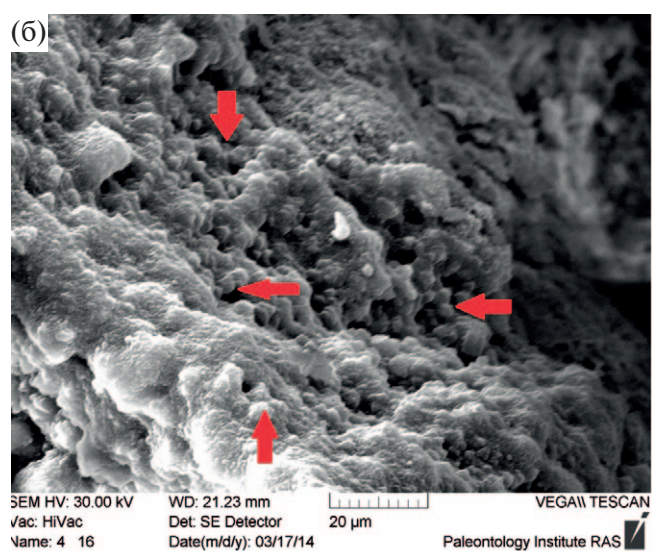
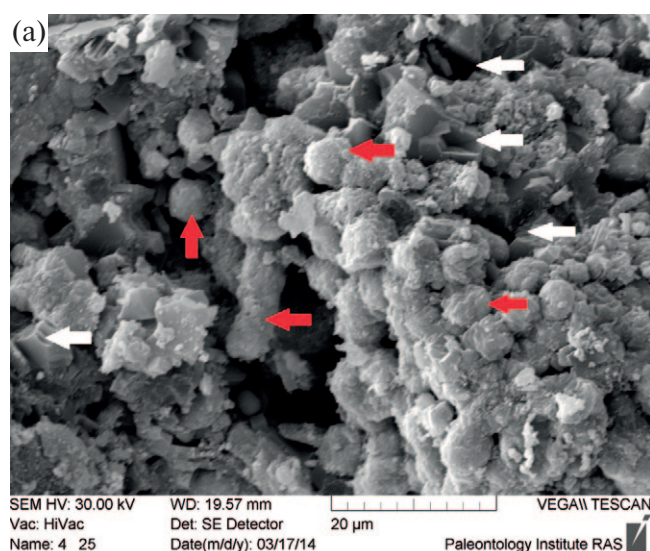


Рис. 12. Перекристаллизованные биоморфозы гиббсита в бокситах: палочковидные и коккоидные формы среди кристаллических выделений (а); фрагмент минерализованной биопленки с плохо сохранившимися отпечатками проблематичной микробиоты (б); гетит-гиббситовая (бокситовая) зона, СЭМ.

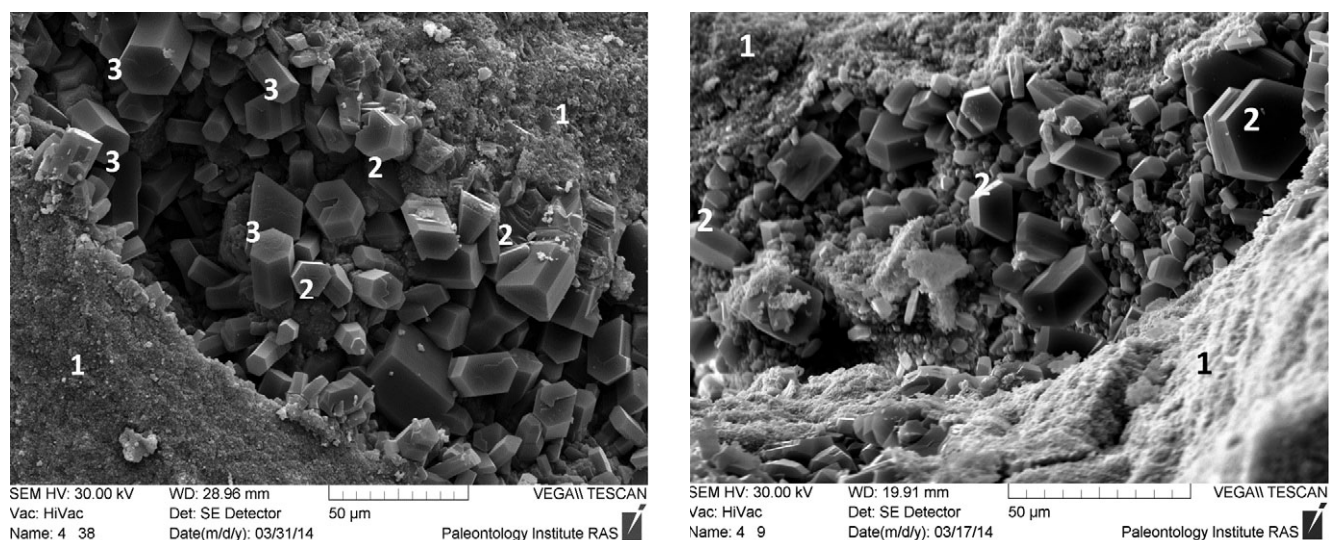


Рис. 13. Морфологические особенности агрегатов гиббсита: скрытокристаллический (1), таблитчатый (2), столбчатый (3); гетит-гиббситовая (бокситовая) зона, СЭМ.

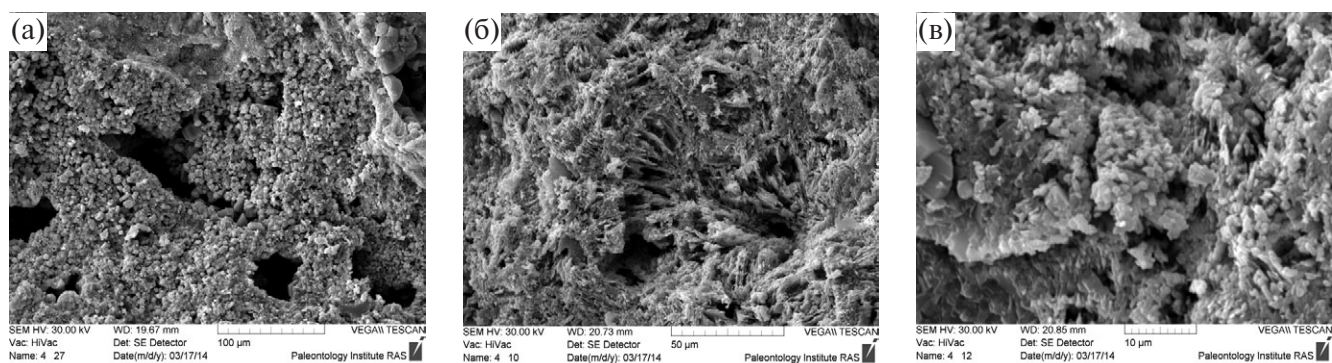


Рис. 14. Типичное микропористое строение бокситов (а) и сферолиты гиббсита, состоящие из вытянутых кристаллов — фибр (б); в центральной части сферолита — сгустки перекристаллизованных кокков (в); гетит-гиббситовая (бокситовая) зона, СЭМ.

биоморфоз разной степени сохранности (см. рис. 4, 11б, 12а). Вторая — разрушает матрицу породы вместе с присутствующими в ней биогенными остатками, в порах этой системы присутствуют микродрузы кристаллических гиббситовых фаз (см. рис. 13), появление и рост которых связаны с химическим осаждением из растворов. Наконец, третья система пор, в отличие от предыдущей, распознается по отсутствию в порах минерального заполнения, следовательно, она формировалась, скорее всего, в последнюю очередь (см. рис. 14а). Все отмеченное логично объяснить энергичным перераспределением в бокситах вещества под воздействием агрессивных поверхностных

вод. Такие воды, перемещаясь по капиллярам, активно растворяли в разных точках матрицу породы, превращаясь в насыщенные растворы. При достижении в растворах предельных концентраций алюминия, часть его в виде гидроокиси осаждалась в свободном поровом пространстве.

Наряду с рассмотренными выше ультрамикроструктурами бокситов, особое внимание привлекают сферолитоподобные образования. Наиболее четко они устанавливаются в том случае, когда слагающие их игольчатые кристаллиты (фибриллы) становятся отпрепарированными в результате растворения неустойчивых компонентов породы, сквозь которую

они прорастают (см. рис. 14б). При больших увеличениях видно, что в центре сфероидов часто присутствуют скопления минерализованной микробиоты, которые, вероятно, послужили затравкой для роста гиббситовых фибрилл (см. рис. 14в).

Важными для понимания особенностей бокситообразующей среды являются условия формирования сферолитов. Наиболее полно процессы сферолитообразования изучены в полимерах [Тугов, Кострыкина, 1989]. В соответствии с существующими представлениями, появлению сферолитов способствуют высококонцентрированные растворы с повышенной вязкостью. Если это действительно так, то формирование бокситов является примером активного взаимодействия микробиальных и абиогенных минеральных процессов. С одной стороны, в них происходит бактериальная фиксация гиббсита с образованием биоморфоз, а с другой — минерализованные биогенные остатки становятся центрами сферолитовой кристаллизации вещества из гипергенных коллоидных и пересыщенных растворов. Поскольку вероятность микробиальной деструкции первичных минералов подтверждается нашими наблюдениями (см. рис. 8а, 8б, 8в), не вполне выясненным остается механизм аккумуляции биотой тригидрата алюминия. Как ранее отмечалось, степень перекристаллизации минерализованных микробиальных остатков различается и не зависит от их видовой принадлежности. Особый интерес вызывают остатки, сохранившие тончайшие детали первоначальной биогенной структуры (см. рис. 4, 5а, 5б, 11а, 11б). Подобная сохранность принципиально возможна в нескольких случаях: а) при внутриклеточном накоплении минерального вещества микроорганизмами; б) при формировании ими минерального защитного покрова; в) при очень быстрой минерализации бактериальных остатков, с образованием псевдоморфоз. Очевидно, что для однозначных заключений пока недостаточно данных. Однако нам представляется, что все отмеченные выше механизмы могли быть реализованы. Первый случай, безусловно, требует специальной аргументации, однако условия для двух других вполне могли быть достигнуты. Так, на рис. 6а, 6б зафиксированы минерализованные остатки трубчатых биогенных

образований, внутри которых заключены минеральные псевдоморфозы, развитые по одиночным коккам и их колониям. По-видимому, отмеченные чехлы-трубки строились организмами для защиты от неблагоприятного воздействия окружающей среды, а их присутствие свидетельствует об участии биоты в процессах латеритного бокситообразования. Развитие минеральных псевдоморфоз, в свою очередь, указывает на высокую активность метасоматических процессов в пределах бокситоносного латеритного профиля.

Не менее интересный факт был установлен российскими геологами при разведке латеритных бокситов, расположенных южнее месторождения Ева, в соседней Гвинейской республике. По данным В. И. Мамедова и С. А. Воробьева [2011], М. А. Макаровой и др. [2015], здесь над зеркалом грунтовых вод (с глубины 4–5 м) формируется восстановительная среда, в которой происходит накопление углекислого и угарного газов, концентрация которых достигает 12–14% при содержании кислорода 5–6%. Очевидно, что эти геохимические данные свидетельствуют о высокой активности современной бактериальной деятельности в пределах профиля латеритного выветривания.

Таким образом, полученные нами электронно-микробиоструктурные данные и их интерпретация на основе существующих представлений и имеющихся в литературе результатах экспериментов, однозначно указывают на важность микробиологической составляющей в бокситообразовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты электронно-микроскопических исследований бокситоносного профиля месторождения Ева дают основания утверждать, что латеритное разложение алюмосиликатных и силикатных минералов происходит при активном участии сложнопостроенных микробиальных сообществ. В нижних частях профиля и, прежде всего, в зоне литомаржа — это, главным образом, нитчатые прокариоты и низшие формы грибов. В верхней части разреза (на завершающем этапе бокситообразования) господству-

- ют палочковидные формы, а также кокки различной организации (одиночные, стрепто- и стафилококки).
2. Значительных масштабов разрушающая деятельность микробиоты достигает уже при формировании глин зоны литомаржа. Микробиальной деструкции подвергаются первичные глинистые минералы, а также терригенные частицы кварца и полевого шпата. Реальность этого процесса фиксируется не только прямыми электронно-микроскопическими наблюдениями, но и подтверждается микробиологическими экспериментами [Огурцова, 1997; Авакян, 1985; Алексеева и др., 2009; Каравайко, 2004; Наймарк и др., 2009; Яхонтова и др., 1983; Bennett et al., 2004; Silverman et al., 1970; Song et al., 2007 и др.].
 3. Латеритное бокситообразование представляет собой сложное взаимодействие микробиальных и хемотронных процессов, в результате которого происходит активное преобразование минерального вещества. При этом, микробиота выполняет две рудообразующие функции: с одной стороны, благодаря ее деятельности, достигается деструкция алюмосиликатных и силикатных минералов; с другой — она является мощным аккумулятором алюминия и фиксирует его в минеральном составе различных биоморфоз, выполненных алюмогидратами.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по Программе Президиума РАН № 17 “Эволюция органического мира. Роль и влияние планетарных процессов” (подпрограмма I “Развитие жизненных и биосферных процессов”), поддержана грантом РФФИ № 17-04-00317 и Министерством высшего образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авакян З.А. Микрофлора горных пород и ее роль в выщелачивании силикатных минералов // Биогеотехнология металлов // Труды Международного семинара и Международных учебных курсов. М., 1985. С. 181-200.

Алексеева Т.В., Сапова Е.В., Герасименко Л.М., Алексеев А.О. Преобразование глинистых минералов под воздействием алкалофильного циано-бактериального сообщества // Микробиология. 2009. Т. 78. № 6. С. 816-825.

Каравайко Г.И. Микробная деструкция силикатных минералов // Тр. Института микробиологии. Юбилейный сборник к 70-летию Института. Вып. XII. М.: Наука, 2004. С. 172-196.

Макарова М.А., Мамедов В.И., Алехин Ю.В., Макаров М.И. Особенности микрокомпонентного состава вод в латеритных бокситоносных корах выветривания на западе провинции Фута Джалон-Мандинго // Материалы II Всеросс. научной конференции “Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами”. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 290-294.

Мамедов В.И., Воробьев С.А. Газовый режим бокситоносной латеритной коры выветривания (Гвинейская республика) // Вестник МГУ. Сер. Геология. 2011. № 6. С. 28-36.

Мамедов В.И., Макстенок И.О., Сума Н.М. Бокситоносная провинция Фута Джалон — Мандинго (Западная Африка) // Геология рудных месторождений. 1985. Т. XXVIII. № 2. С. 72-82.

Михайлов Б.М. Бокситы западных районов Либерийского шита // Генезис бокситов / Под ред. Г.И. Бушинского. М.: Наука, 1966. С. 3-46.

Наймарк Е.Б., Ерошев-Шак В.А., Чижикова Н.П., Компанцева Е.И. Взаимодействие глинистых минералов с микроорганизмами: обзор экспериментальных данных // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70. № 2. С. 155-167.

Огурцова Л.В. Микроорганизмы и их роль в трансформации минералов бокситов / Автореф. дисс. ... кандидата биол. наук: 03.00.07. М.: Институт микробиологии, 1997. 22 с.

Рыбальченко О.В. Морфо-физические аспекты взаимодействия микроорганизмов в микробиальных сообществах // Дисс. на соискание ученой степени доктора биол. наук: 03.00.23. СПбГУ, 2003. 337 с.

Селивестров Ю.П. Ландшафты и бокситы. Л.: ЛГУ, 1983. 257 с.

Селивестров Ю.П. Рельеф и покровные образования тропиков Западной Африки // Геоморфология. 1973. № 1. С. 86-95.

Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989. 432 с.

Шибистов Б.В. Красноярские геологи за рубежом // Геология жизнь моя. 2004. Вып. 14. С. 427-468.

Яхонтова Л.К., Нестерович Л.Г., Любарская Г.А. и др. Разрушение силикатов с помощью бактерий // Минералог. журнал. 1983. № 2. С. 28-38.

Bennett P. C., Rogers J. R., Choi W. J. Silicates, silicates weathering and Microbial Ecology // Geomicrobiol. J. 2004. V. 18. P. 3-19.

Zhan S., Liu J., Chen Y., Sun D. Single and corparative bauxite bioleaching by silicate // IERI Procedia. 2013. V. 5. P. 172-177.

Silverman M., Manuz E. Fungal attack on rock: solubilization and altered infrared spectra // Science. 1970. V. 169. № 3949. P. 985-997. DOI: 10.1126/science.169.3949.985

Song W., Ogawa N., Oguchi C.T. et al. Effect of *Bacillus subtilis* on granite weathering: A laboratory experiment // Catena 70. 2007. P. 275-281.

MICROBIOTA OF BAUXITES IN THE EVA DEPOSIT (GUINEA-BISSAU)

F. Georgievskiy^{1, *}, E. A. Zhegallo^{2, **}, V. M. Bugina^{1, ***}

¹ RUDN University,

Miklukho-Maklaya str. 6, Moscow, 117198 Russia

² Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences,

Profsoiuznaya str. 123, Moscow, 117647 Russia

*E-mail: georgievskiy_af@rudn.university

**E-mail: ezheg@paleo.ru

***E-mail: bugina_vm@rudn.university

Received October 16, 2017

The important role of the biogenic factor in sedimentary ore genesis now, after more than a hundred years after the publication of V.I. Vernadsky's and Ya.V. Samoylov's papers, has become an indisputable fact for everyone. Discussions mainly take place as to how productive the activity of organisms was in the formation of specific exploitable minerals. In 2004, a joint monograph of Russian geologists "Biomorphic Structures in Bauxite" was published. Using the examples of dozens of deposits of a huge stratigraphic range from the Late Proterozoic age to the Quaternary period and wide geographic range (Africa, Eurasia, Australia and America), active participation of various microbial communities in the bauxite formation was shown in the monograph. This article demonstrates new results of electron microscopic study of ores from Eva bauxite deposit, which is little known in Russia, and continues researching this topic, which was initiated by E. L. Shkolnik.

Keywords: bauxite, bauxite formation, microbiota, bacteria, bioturbation, ultra-microstructure.

DOI: 10.31857/S0024-497X20196557-567