

УДК 553.31+553.26+553.492.1

ГЛАВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОКСИТОВ САНГАРЕДИ (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

© 2020 г. В. И. Мамедов¹, М. А. Макарова^{1,2}, Н. М. Боева^{2,*}, А. Д. Слуккин²,
Е. С. Шипилова², академик РАН Н. С. Бортников²

Поступило 10.02.2020 г.

После доработки 11.03.2020 г.

Принято к публикации 13.03.2020 г.

В процессе доразведки нижних горизонтов месторождения Сангареди в Западной Африке были установлены нелатеритизованные отложения серии Сангареди всех главных литологических типов. Литологический состав переотложенных бокситизированных отложений серии Сангареди разнообразный: от конгломерат- и гравелит-бокситов до песчаниковидных и глинистых бокситов, которые фациально представляют водно-осадочные (аллювиальные и озерные) континентальные отложения. Появление такого нового особо благоприятного переотложенного материнского субстрата предопределило в результате последующей латеритизации образование осадочно-латеритных бокситов. Охарактеризованы главные процессы и обоснованы стадии формирования бокситов экстра-качества уникального месторождения Сангареди.

Ключевые слова: бокситы, литологический тип, стадия формирования, Сангареди, осадочно-латеритный генезис

DOI: 10.31857/S2686739720050126

На западе крупнейшей бокситоносной провинции Фута Джалон-Мандинго (ФДМ) в Западной Африке на левобережье реки Когон в Гвинейской Республике расположено уникальное месторождение Сангареди, известное широкому кругу специалистов в области бокситов [1–5].

Уникальные по качеству бокситы, огромные их мощности, отличный от классических латеритных бокситов минеральный состав, повышенное содержание бемита приводят к главному дискуссионному вопросу о генезисе месторождения. Большинство исследователей второй половины прошлого века уверенно относили его к осадочному типу. По наличию обломочных структур, гелеморфных веществ и оолитовых образований, эти руды относили к аллювиальным, озерным и болотным отложениям [1, 2, 6–9]. Основываясь на уплощенной форме мелкой гальки и гравия, часть горизонтов этого сложно построенного месторождения была отнесена к прибрежно-морскому пляжному типу [1].

В начале нынешнего столетия группа французских коллег [5] снова рассматривали месторождение Сангареди и другие месторождения этого района как осадочные залежи на эоценовой поверхности, переотложенные с меловой поверхности, расположенной в нескольких сотнях километрах восточнее на вершинах плато Фута Джалон. Однако такая точка зрения не имела фактического обоснования ни возраста поверхности, ни осадочного генезиса залежей.

Первая попытка реконструировать геологическую модель месторождения была выполнена в 1985 г. [3]. На базе изучения десятков пересечений колонковыми скважинами и изучения геоморфологического положения залежей, впервые предположили, что переотложенный субстрат аллювиальных и аллювиально-озерных фаций подвергся эпигенетическим изменениям и последующей латеритизации.

Близкую позицию о последующей латеритной бокситизации осадочной континентальной толщи (отложений серии Сангареди) высказали Пуликен и Малм в 1986 г. [4]. Надо отметить, что Пуликен несколько лет руководил геологическими работами на месторождении. Он имел хорошее представление о строении бокситовых залежей, в отличие от исследователей, только посещавших этот объект и изучавших его в основном по образцам. В Австралии на месторождении Уэйпа при

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

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

*E-mail: boeva@igem.ru

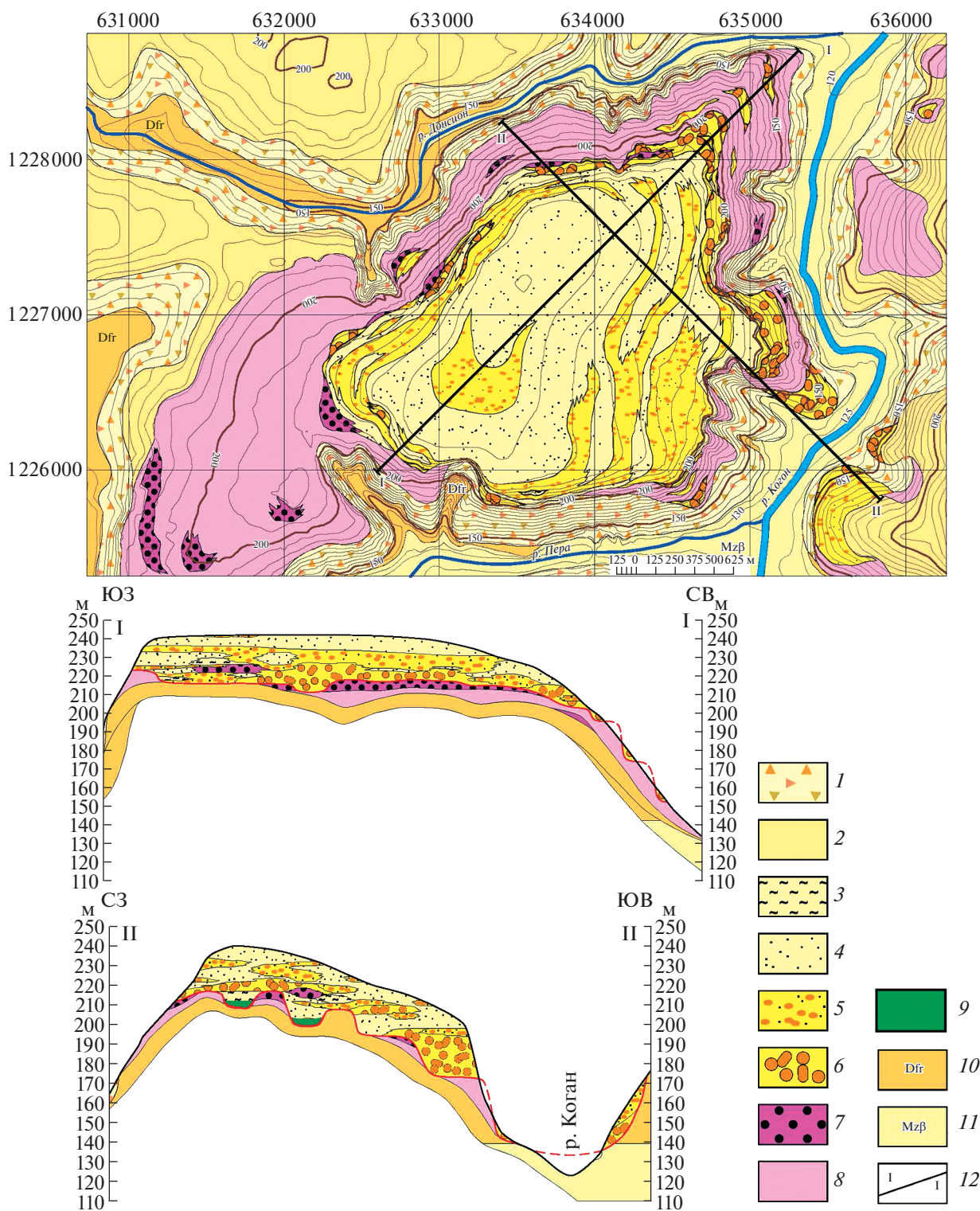


Рис. 1. Геологическая карта и разрезы, продольный и поперечный месторождения Сангареди. 1 – делювиально-пролювиальные шлейфы склонов; 2 – бокситы и латериты классические *in situ* по алевро-аргиллитам девона; 3–6 – бокситы осадочно-латеритные: 3 – по осадочным глинам, 4 – по псаммитовым отложениям, 5 – по гравийным отложениям, 6 – по галечным и гравийно-галечным отложениям; 7, 8 – бокситы инфильтрационно-метасоматические: 7 – оолитовые бокситы, 8 – гелеморфные и гелефицированные бокситы; 9 – отложения серии Сангареди нелатеритизированные; 10, 11 – коренные породы: 10 – алевро-аргиллиты девона свиты Фаро, 11 – долериты мезозойской трапповой формации; 12 – линии разрезов.

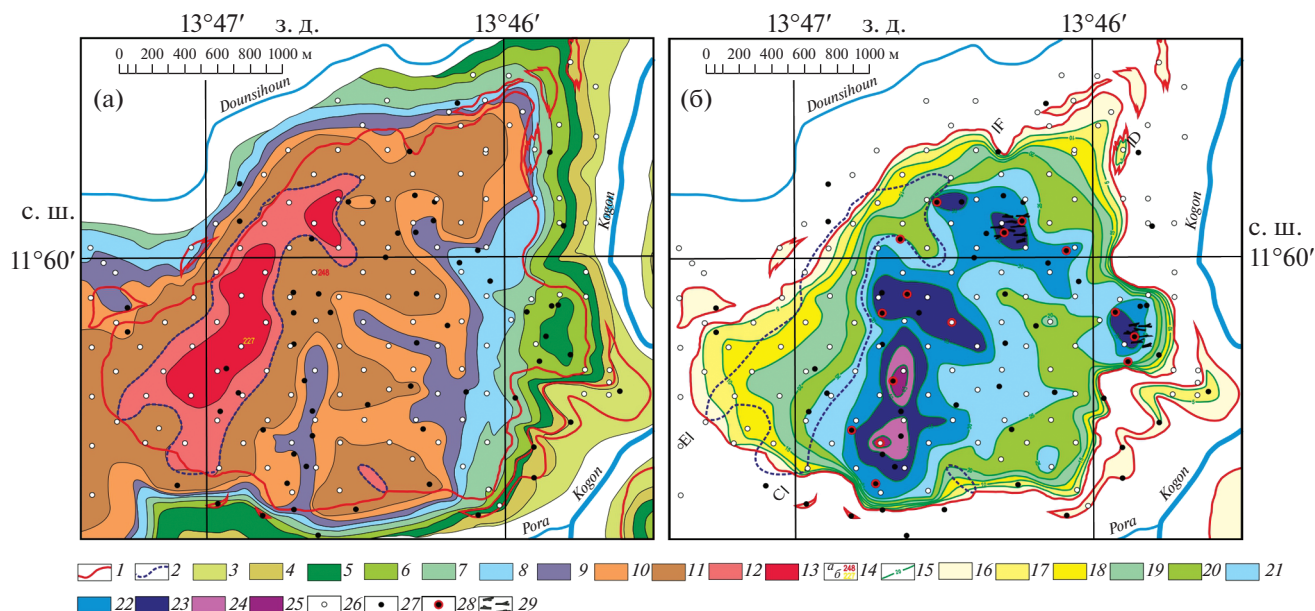


Рис. 2. Карты (А) рельефа ложа и (В) мощности серии Сангареди на месторождении. 1 – контуры сохранившихся отложений серии Сангареди; 2 – контуры локальных возвышенностей ложа серии Сангареди; 3–13 – поля абсолютных высот рельефа ложа серии Сангареди, м: 3 – от 135 до 150, 4 – от 150 до 160, 5 – от 160 до 170, 6 – от 170 до 180, 7 – от 180 до 190, 8 – от 190 до 195, 9 – от 195 до 200, 10 – от 200 до 205, 11 – от 205 до 215, 12 – от 215 до 220, 13 – более 220; 14 – максимальные абсолютные отметки (а) современной поверхности бовали и (б) рельефа ложа серии Сангареди; 15 – изолиния мощности серии Сангареди и ее значение; 16–25 – поля мощности серии Сангареди, м: 16 – менее 5, 17 – от 5 до 10, 18 – от 10 до 15, 19 – от 15 до 20, 20 – от 20 до 25, 21 – от 25 до 30, 22 – от 30 до 35, 23 – от 35 до 40, 24 – от 40 до 45, 25 – более 45; 26–28 – устья скважин: 26 – пробуренных в 1976–1977 гг., 27 – пробуренных в 2010–2012 гг., 28 – вскрывших слаблатеритизированные и ресилифицированные отложения серии Сангареди; 29 – лигниты.

изучении пизолитовых бокситов также было обосновано образование бокситов не только *in situ*, но и в результате переотложения сильно выветрелых пород с последующей латеритизацией [10].

До 2012 г. изложенные в ряде публикаций обоснования о стадийном полигенном образовании месторождения носили предположительный характер [11, 12]. Рассматривались следующие стадии:

– накопление материала и переотложение латеритных кор выветривания, залегающих топографически выше;

– обеление, восстановление и вынос железа из отложений на стадии проточного обводнения в условиях жаркого и влажного климата, богатой растительности и биологически активной среды, т.е. в глеевой геохимической обстановке; эти процессы должны были сопровождаться ресилификацией бокситовых обломков;

– последующая латеритизация осадочных обеленных отложений в постсреднемиоценовое время, связанная с опусканием базиса эрозии, расчленением аккумулятивной равнины, опусканием уровня грунтовых вод и последовательным выводом отложений в гидрогеологическую зону аэрации и инфильтрации.

Всей системе логических геолого-геоморфологических, минералого-петрографических и геохимических обоснований не хватало фактического подтверждения.

По документации колонковых скважин нам удалось восстановить геологическую модель месторождения, которая представлена на геологической карте и геологических разрезах к ней (рис. 1).

В процессе доразведки нижних горизонтов месторождения удалось подсесть 15 колонковыми

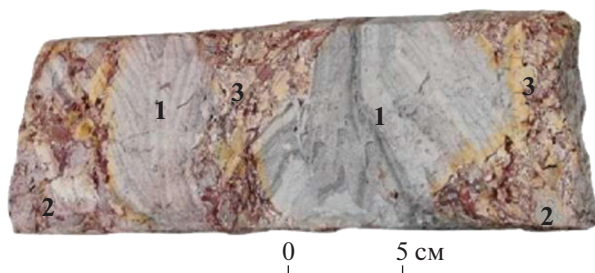


Рис. 3. Ресилифицирования порода с реликтовой конгломерат-брекчиевой текстурой. 1 – каолинизированные обломки алевро-аргиллита, 2, 3 – ресилифицированные до каолинитовой глины обломки бокситов: 2 – галька, 3 – гравий.

Таблица 1. Состав различных фациальных отложений серии Сангареди в соответствии с интенсивностью латеритного выветривания

| Интенсивность латеритизации отложений серии Сангареди | | по осадочным глинам | | | | по песчаным отложениям | | | | по гравийным отложениям | | | | по галечным и гравийно-галечным отложениям | | | |
|---|-------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Кол-во | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Кол-во | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Кол-во | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Кол-во | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ |
| SiO ₂ < 2 | % | 69 | 1.1 | 57.7 | 7.8 | 168 | 0.8 | 59.4 | 5.5 | 208 | 0.8 | 60.3 | 4.4 | 48 | 0.6 | 63.3 | 2.2 |
| | кг/м ³ | | 20 | 1062 | 143 | | 16 | 1169 | 108 | | 14 | 1080 | 78 | | 12 | 1229 | 43 |
| 2 < SiO ₂ < 5 | % | 7 | 3.5 | 59.3 | 5 | 16 | 3.3 | 58.1 | 6.2 | 18 | 3.6 | 58.8 | 5.6 | 11 | 3.6 | 61.1 | 4.5 |
| | кг/м ³ | | 57 | 954 | 81 | | 57 | 1005 | 107 | | 61 | 994 | 94 | | 67 | 1117 | 82 |
| 5 < SiO ₂ < 10 | % | 10 | 6.8 | 55.4 | 4.5 | 14 | 6.4 | 56.2 | 6.6 | 23 | 7.1 | 57.4 | 5.8 | 12 | 7.9 | 58.6 | 5.1 |
| | кг/м ³ | | 109 | 892 | 72 | | 113 | 983 | 115 | | 124 | 1004 | 101 | | 147 | 1089 | 94 |
| 10 < SiO ₂ < 15 | % | 6 | 14 | 53.6 | 2.3 | 4 | 12.1 | 53.9 | 5 | 5 | 11.2 | 55.8 | 4.7 | 3 | 13 | 54.5 | 4.6 |
| | кг/м ³ | | 211 | 809 | 35 | | 190 | 846 | 78 | | 194 | 966 | 82 | | 220 | 920 | 78 |
| 15 < SiO ₂ < 20 | % | 9 | 16.6 | 51.9 | 3.6 | 11 | 17.2 | 51 | 3.4 | 5 | 16.9 | 52.9 | 4.9 | 3 | 18.1 | 52.4 | 3.2 |
| | кг/м ³ | | 257 | 804 | 55 | | 272 | 805 | 54 | | 272 | 851 | 79 | | 319 | 928 | 56 |
| SiO ₂ > 20 | % | 1 | 43.5 | 38.6 | 1.6 | 1 | 41 | 38.8 | 3.7 | 1 | 42.1 | 35.9 | 5.1 | 1 | 43.5 | 37.4 | 3.2 |
| | кг/м ³ | | 631 | 559 | 24 | | 624 | 590 | 56 | | 648 | 552 | 79 | | 697 | 598 | 52 |

Примечание: привнос/вынос рассчитан по отношению к нижележащим породам профиля выветривания.

скважинами почти нелатеритизованные отложения серии Сангареди – материнские породы всех главных литологических типов: гравийно-галечных, песков и глинистых отложений. Эти скважины легли, как и следовало ожидать, в местные понижения микрорельефа ложа серии Сангареди на плоской вершине палеобовали Сангареди (рис. 2). Как и предполагалось ранее, эти незатронутые или слабозатронутые латеритизацией отложения оказались и обеленными (содержание Fe₂O₃ в них редко превышало 3–6%) и ресилифицированными высокоглиноземными (с содержанием Al₂O₃ 35–42%) преимущественно каолинистыми породами. На фотографии зерна из базального горизонта (36.7 м от поверхности) отложений серии Сангареди (рис. 3) хорошо видна обломочная структура типа конгломерат-гравелитовой. Многочисленные белесые округлые включения являлись каменистыми окатанными обломками бокситов. В настоящее время это – глина, которая легко растирается руками. В химическом составе интервальной пробы содержание SiO₂ 43.54%, а содержание Al₂O₃ 37.39%, что соответствует каолиниту с небольшим количеством свободного глинозема. Содержание железа: Fe₂O₃ 3.22%, Al₂O₃_{змон} всего 0.2% – небольшое. Эта обломочная порода изначально *in situ* не могла быть практически полностью каолинистой и маложелезистой. Такой состав обязан ресилификации и обелению.

В табл. 1 приведены фактические данные по изменению химического состава каждого из четырех основных литологических типов (галечников, гравийников, песков и глин) исходных материнских пород по мере интенсивности их латеритной бокситизации. Все литотипы материнских пород по своему химическому составу являются и обеленными и ресилифицированными с очень высоким железистым модулем от 7 до 24, при очень высоком содержании глинозема.

Как ранее и предполагалось [3], только появление такого нового особо благоприятного переотложенного (осадочного) материнского субстрата предопределило в результате последующей латеритизации образование осадочно-латеритных бокситов особо высокого качества – уникального месторождения Сангареди.

Детальным картированием на северо-западе провинции и поисково-разведочными работами было выявлено не более 195 тел и залежей этих отложений различного размера, которые повсеместно превращены в бокситы очень высокого качества. Наиболее крупная залежь сохранилась на месторождении Сангареди, по которому была названа и сама серия [1, 6].

Геолого-геоморфологическое картирование в районе левобережья реки Когон и междуречья Когон-Томине позволило построить палеогеографическую карту (рис. 4) на конец среднего миоцена [11, 13], а также составить схему циклов

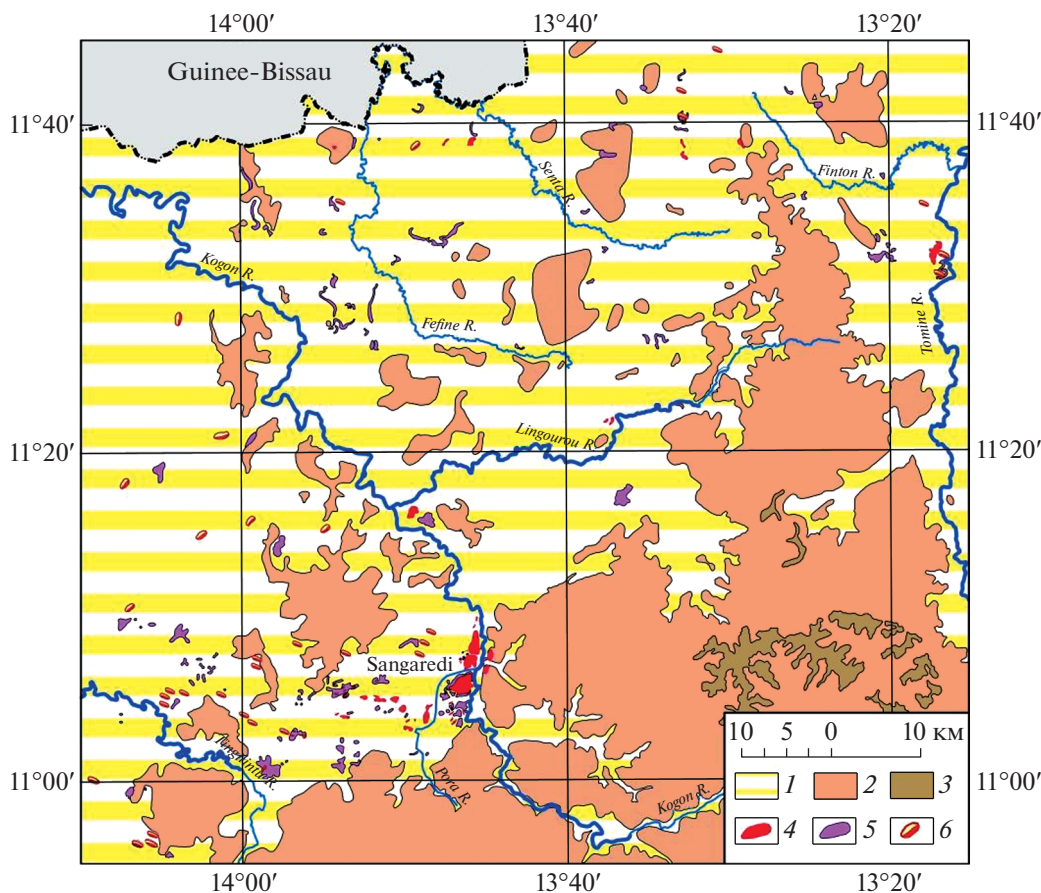


Рис. 4. Палеогеографическая схема междуречья Тингилинта–Когон–Томине на конец среднего миоцена. 1 – площадь вероятного распространения среднемиоценовой аккумулятивной равнины – аллювиально-озерная равнина (отложениях серии Сангареди); 2 – досреднемиоценовые поверхности выравнивания позднеэоценового и олигоценного возраста; 3 – фрагменты Африканской поверхности; 4 – сохранившиеся отложения серии Сангареди (бокситизированные); 5 – гелеморфные бокситы по обеленным коренным породам в подошве серии Сангареди; 6 – единичные гальки из базальных конгломерат-бокситов по галечникам серии Сангареди.

геоморфологического развития (рис. 5) западного склона плоскогорья в районе месторождений группы Сангареди. Из этих материалов видно, что после завершения в конце раннего миоцена первой фазы неотектонического подъема и соответственно опускания базиса эрозии, в среднем миоцене произошла инверсия – подъем базиса эрозии. Как следствие этого, обломочный материал, поступающий из разрушающихся латеритных кор выветривания, залегающих топографически выше, сначала заполнял днища долин, а затем перекрыл пространства низких водоразделов. Таким образом, образовалась аккумулятивная равнина, над которой возвышались останцы предсреднемиоценового рельефа. Высотные отметки аккумулятивной равнины (в сегодняшних измерениях) составляли 270–400 м, а палеорусло реки Когон, в районе месторождения Сангареди, находилось на отметках 134–137 м. Мощность отложений по оси главных рек района достигала 150–170 м. В позднем миоцене снова начались

подъем территории (вторая фаза неотектонического этапа) и расчленение аккумулятивной равнины, приведшие к настоящему времени почти к полному размыву и уничтожению отложений серии Сангареди.

Таким образом, впервые получены прямые, а не косвенные доказательства того, что месторождение Сангареди не является результатом только осадочного процесса: оно является полигенным и полихронным образованием. Но осадочный этап его образования с эпигенетическими изменениями на стадии осадка в глеевой геохимической обстановке сыграл очень важную роль в создании нового особо благоприятного материнского субстрата. Однако без воздействия интенсивного и достаточного длительного латеритного выветривания не было бы таких уникальных залежей бокситов. Следовательно, месторождение Сангареди является продуктом осадочно-латеритного генезиса.

За многие десятилетия поисково-разведочных и картировочных работ в данной крупнейшей

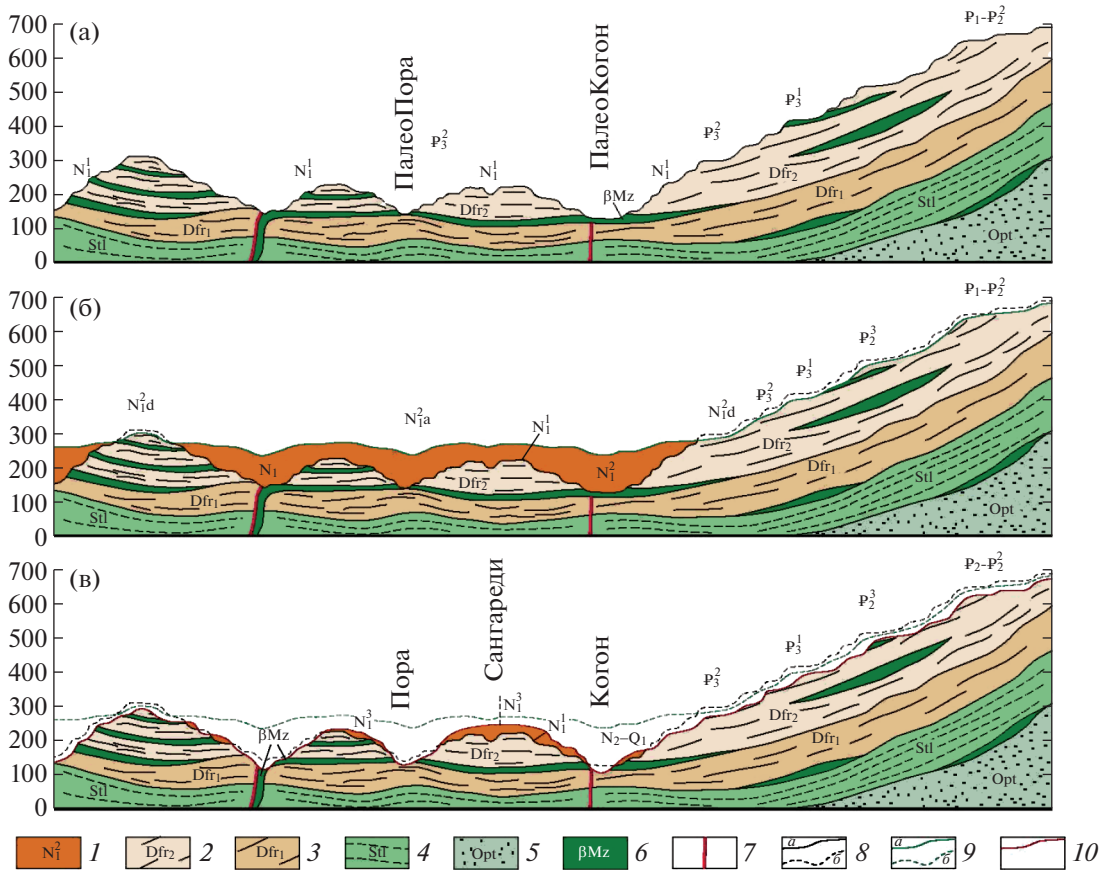


Рис. 5. Схема циклов геоморфологического развития западного склона морфоструктуры Фута Джалон-Мандинго, на: А) конец раннего миоцена; В) конец среднего миоцена и С) настоящее время. 1 – аллювиальные и аллювиально-озерные отложения серии Сангареди, сформировавшие в среднем миоцене аккумулятивную равнину; 2–5 – терригенно-осадочные отложения платформенного чехла Гвинейской синеклизы в синклинале Бове: 2, 3 – алевролиты, аргиллиты и мелкозернистые песчаники девона, свиты Фаро верхней (2) и нижней (3) пачек; 4 – алевро-аргиллиты силура, свиты Телимеле; 5 – песчаники кварцевые разнозернистые, гравелиты и конгломераты ордовика свиты Пита; 6 – жилы и дайки долеритов и конга-диабазов мезозойской трапповой формации; 7 – разломы; 8–10 – линии рельефов: 8а – на конец раннего миоцена, 8б – предполагаемый на разрезах последующих этапов, 9а – на конец среднего миоцена, 9б – предполагаемого на последующем этапе, 10 – современный рельеф.

бокситоносной провинции не было выявлено ни в аллювиальных, ни в озерных, ни в прибрежно-морских отложениях осадочных залежей бокситов достаточно качественных – малокремнеземных [14, 15]. Отсутствуют также свидетельства существования осадочных малокремнеземных бокситов.

Среднее содержание алюминия в месторождениях провинции ФДМ составляет 24%, что всего в три раза выше, чем кларк алюминия в земной коре. При очистке качественного боксита от вредных примесей (кремнезем, щелочные и щелочноземельные компоненты), их суммарное содержание в бокситах провинции ФДМ составляет в среднем не более 2,5%, а в среднем составе коренных материнских пород порядка 70%, требуется почти в 28 раз уменьшить сумму вредных компонентов, чтобы получить боксит.

Следовательно, боксит – это не столько концентрация алюминия, сколько высочайшая степень очистки материнских пород от вредных примесей. В процессе простого переотложения невозможно обеспечить такую высокую степень разделения гиббсита, каолинита и кварца, особенно в мелкообломочных отложениях [15]. Таким образом, полученные фактические и теоретические данные позволяют уверенно обосновать генезис бокситов месторождения Сангареди как латеритно-осадочный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаемов С.Т., Пастухова М.В., Теняков В.А., Ясманов Н.А. Время и условия формирования бокситов латеритных покровов экваториальной зоны Земли. В кн.: Проблемы генезиса бокситов. М.: Наука, 1975. С. 55–77.

2. Сапожников Д.Г., Богатырев Б.А., Барков В.В. Бокситы и коры выветривания Гвинеи. В кн.: Кора выветривания. Вып. 15. М.: Наука, 1976. С. 3–50.
3. Мамедов В.И., Макстенек И.О., Сума Н.М.Л. Бокситоносная провинция Фута Джалон–Мандинго (Западная Африка) // Геология рудных месторождений. 1985. Т. XXVII. № 2. С. 72–82.
4. Bardossy G., Aleva G.J.J. Lateritic Bauxites. Developments in Economic Geology. 27, Elsevier Sci. Publ., 1990. 624 p.
5. Chardon D., Chevillotte V., Beauvais A., Grandin G., Boulangé B. Planation, bauxite and epeirogeny: one or two paleosurfaces on the West African margin? // Geomorphology. 2006. V. 82. P. 273–282.
6. Селиверстов Ю.П. Рельеф и поверхностные образования Западного Фута-Джалона (Западная Африка) // Известия Всесоюзного геогр. общ-ва. 1973. Т. 105. Вып. 3. С. 237–243.
7. Шибистов Б.В. Латериты и континентальные бокситы. Красноярск, 2000. 204 с.
8. Богатырев Б.А., Жуков В.В., Цеховский Ю.Г. Условия образования и закономерности распространения крупных и уникальных месторождений бокситов // Литология и полезные ископаемые. 2009. № 2. С. 149–168.
9. Dewany A. Bauxite formation on Tertiary sediments and Proterozoic bedrock in Suriname. Utrecht Studies in Earth Sciences. 2018. V. 147. 178 p.
10. Taylor G., Eggleton R.A. Genesis of pisoliths and of the Weipa Bauxite deposit, northern Australia // Australian Journal of Earth Sciences. 2008. V. 55. P. 87–103.
11. Мамедов В.И., Чаусов А.А., Канищев А.И. Этапы формирования уникальной бокситоносной серии Сангареди (провинция Фута Джалон-Мандинго, Западная Африка) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 3. С. 203–229.
12. Mamedov V.I., Boufeev Y.V., Nikitine 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 Lomonosov (Fac. Geol.) Conakry–Moscou: Aquarel, 2010. 320 p.
13. Mamedov V.I. The separation between Al and Fe the supergene zone as the determining factor of premium bauxite formation // Status of bauxite, alumina, aluminum, downstream products and future prospects. Materials XVI International Symposium ICSOBA-2005. Nagpur, India, 2005. P. 84–96.
14. Мамедов В.И. Фации современных рыхлых континентальных образований бассейна р. Саму и их возможная бокситоносность // Новые данные по геологии бокситов. М.: ВИМС, 1975. Вып. III. С. 104–115.
15. Мамедов В.И., Чаусов А.А., Макарова М.А. О возможности механогенно-осадочного образования бокситов высокого качества // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2020. № 2. С. 80–88.

MAIN PROCESSES AND STAGES OF FORMING A UNIQUE DEPOSIT OF SANGAREDI BOXITES (WEST AFRICA)

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

^a Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^b Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

In the course of further exploration of the lower horizons of the Sangaredi Deposit in West Africa, non-lateritized deposits of the Sangaredi series of all major lithological types were found. The lithological composition of re-deposited bauxitized deposits of the Sangaredi series is diverse: from conglomerate and gravelite bauxites to Sandstone and clay bauxites, which facially represent water-sedimentary (alluvial and lacustrine) continental deposits. The appearance of such a new particularly favorable re-deposited parent substrate predetermined the formation of sedimentary-lateritic bauxites as a result of subsequent lateritization. The main processes are characterized and the stages of formation of extra-quality bauxites of the unique Sangaredi Deposit are substantiated.

Keywords: bauxites, lithological type, stage of formation, Sangaredi, sedimentary-laterite Genesis