

УДК 553.21/.24+553.492.1

В.И. Мамедов¹, А.А. Чаусов², М.А. Макарова³**ВОЗМОЖНОСТЬ МЕХАНОГЕННО-ОСАДОЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БОКСИТОВ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**GEOPROSPECTS ltd, Гвинейская Республика, префектура Боке, г. Сангареди, округ Силидара**Lomonosov Moscow State University, 119991, GSP-1, Leninskiye Gory, 1**GEOPROSPECTS ltd, Republic of Guinea, Boke Prefecture, Sangaredi City, Silidara District*

Для оценки принципиальной возможности формирования залежей высококачественных бокситов механогенно-осадочным путем были исследованы континентальные отложения в крайних членах их фациального ряда: элювиальные отложения на поверхности бовалей, представляющие собой область мобилизации вещества; аллювиальные отложения, претерпевшие перенос и наиболее существенную сортировку в континентальных условиях. Показано, что эти отложения не дают залежей бокситов высокого качества даже в уникально благоприятных условиях, а механогенно-осадочный процесс не обеспечивает условия для пространственного разделения алюминия с железом и кремнеземом, без чего месторождения бокситов высокого качества формироваться не могут.

Ключевые слова: бокситы, фациальный ряд, аллювиальные отложения, элювиальные отложения, континентальные отложения, кора выветривания, Гвинея.

To assess the fundamental possibility of the formation of deposits of high-quality bauxites by mechanogenic sedimentary methods, continental deposits in the extreme members of their facies series were studied: eluvial deposits on the surface of the bovaly, representing the region of mobilization of matter; alluvial deposits that underwent transfer and the most significant sorting in continental conditions. It is shown that these deposits do not produce high-quality bauxite deposits, even under uniquely favorable conditions, and the mechanogenic-sedimentary process does not provide the conditions for the spatial separation of aluminum with iron and silica, without which high-quality bauxite deposits cannot be formed.

Key words: bauxite, facies series, alluvial deposits, eluvial deposits, cantinental deposits, weathering crust, Guinea.

Введение. Механогенно-осадочный генезис бокситов предполагает, что за счет разрушения и механического переотложения материала бокситоносных латеритных покровов могут формироваться месторождения бокситов. Основной аргумент приверженцев этой точки зрения об осадочном генезисе — наличие обломочных структур в бокситах [Савко и др., 2007; Bardossy, Aleva, 1990], например, конгломератовые, гравелитовые и песчаниковидные структуры в бокситах месторождения Сангареди и ряда других месторождений [Шибистов, 2000].

Прежде чем попытаться выяснить это, необходимо осознать, что такое боксит и какие процессы приводят к формированию месторождений бокситов. В масштабах самой крупной в мире бокситоносной провинции Фута Джалон-Мандинго в Гвинее, в пределах которой сосредоточено около 50% мировых ресурсов [Mamedov et al., 2017], подавляющая часть бокситов образовалась за счет латеритного выветривания терригенно-осадочных, существенно глинистых пород вендского, силурий-

ского и девонского возраста, а также мезозойских долеритов.

Расчеты показывают [Mamedov et al., 2019], что в усредненном материнском субстрате содержание SiO_2 и Al_2O_3 в абсолютных значениях составляет 1655 и 440 кг/м³ соответственно, а в бокситах — около 44 и 908 кг/м³ соответственно. Из этих данных становится понятно, что при образовании бокситов хотя и происходит относительное и абсолютное накопление глинозема, но всего в 2 раза с небольшим ($908/44=2,06$), тогда как вынос кремнезема — более чем в 37 раз ($1655/44=37,8$). Следовательно, образование боксита хорошего качества при химическом выветривании обязано не столько процессам концентрации глинозема, сколько высочайшей очистке от кремнезема.

Носитель глинозема в латеритных корах выветривания представлен в основном гиббситом, кремнезема — каолинитом в верхней части глинистого горизонта, иллитом, монтмориллонитом и кварцем — в нижней. Естественно, встает вопрос: позволяют ли физические характеристики этих

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет, консультант; e-mail: dr_v.mamedov@mail.ru

² GEOPROSPECTS ltd, director general; e-mail: chausov_alexey@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра геохимии, науч. сотр.; e-mail: frolikovam@gmail.com

минералов в природных условиях обеспечить их пространственное разделение при переотложении материала кор выветривания, прежде всего отделения гиббсита от каолинита и кварца? В табл. 1 приведены основные физические характеристики этих трех минералов.

Таблица 1

Основные физические характеристики гиббсита, каолинита и кварца

Параметры	Гиббсит	Каолинит	Кварц
Удельный вес, кг/м ³	2,4	2,6–2,63	2,65
Хрупкость	хрупкий, не размокает	хрупкий, размокает	хрупкий, не размокает
Твердость	2,5–3,5	2–2,5	7

Из данных табл. 1 видно, что физические свойства указанных минералов очень близки и нет явных предпосылок, которые позволили бы отделить гиббсит от каолинита и/или от кварца в процессе переотложения, тем более с высокой степенью очистки.

Рассмотрим результаты переотложения продуктов разрушения бокситоносных латеритных кор выветривания в реальных природных условиях бокситорудных районов рассматриваемой провинции.

Объекты и методы исследований. В пределах крупнейшей бокситоносной провинции Фута Джалон-Мандинго проведены новые исследования континентальных образований в фациальном профиле в районе крупнейших месторождений высококачественных бокситов (Сангареди, Силидара, НДангара, Бунде-Вааде, Вуассо, Тиапикуре, Буроре, Бидикум) в бассейне рек Когон и Тингилинта на северо-западе Гвинейской Республики.

Рыхлые образования изучены в фациальных профилях от элювия и элювиально-делювиальных отложений, залегающих на бокситоносных латеритных покровах, на вершинах бовалей до аллювиальных и озерных отложений, как у основания бокситоносных водораздельных пространств (бовалей), так и на удалении от них в породах, претерпевших наиболее значительный перенос и наибольшую сортировку в континентальных условиях. Ранее аналогичный анализ выполнен в бокситорудном районе Дебеле-Киндия вблизи месторождений бокситов группы Дебеле [Мамедов, 1975].

Современные элювиальные образования в рассматриваемом районе изучены на примере 5 месторождений (НДангара, Бунде-Вааде, Вуассо, Тиапикуре, Буроре) в рамках исследования так называемой рыхлой вскрыши, которая в процессе подготовки к эксплуатации месторождений обычно срезается бульдозерами.

Анализ аллювиальных отложений проводился в наиболее благоприятных условиях ближнего переотложения в долине р. Когон, ниже по тече-

нию реки от месторождений наиболее высококачественных бокситов Сангареди и Силидара. Пробы отбирали в конце сухого сезона, когда от воды освобождаются значительные участки русловых фаций аллювия и появляется возможность пройти шурфы-закопушки на низких поймах долин. Были отобраны и исследованы пробы аллювия различных фаций:

– гравийно-галечные отложения русловых фаций, находящиеся под водой в сухой сезон;

– песчано-гравийные и гравийно-галечные отложения с редкими глыбами, находящиеся в сухой сезон в надводном положении, слагающие русловые косы и прибрежные отмели;

– песчано-глинистые и песчано-гравийные отложения прирусловых фаций (в зоне перехода от русловых фаций к пойменным);

– песчано-глинистые отложения низкой поймы.

Всего отобрано 14 проб современных элювиальных образований и 5 проб аллювиальных отложений в долине р. Когон. Изучен гранулометрический состав проб, проведен рентгенофлуоресцентный анализ, а для уточнения минерального состава материал тонких глинисто-алевритовых фракций исследован с помощью рентгено-дифрактометрического анализа.

Месторождения бокситов в изучаемом районе приурочены к местным возвышенностям и бовалям, в основном к их пологоволнистым и плоскоступенчатым вершинам и верхним пологим частям склонов. Их абсолютная высота составляет от 160 до 290 м с превышением на 45–205 м, соответственно, над днищами главных рек Когон и Тингилинта, имеющими абсолютные отметки 125 и 85 м. Необходимо подчеркнуть, что бокситоносные латеритные покровы развиты преимущественно на верхних геоморфологических уровнях ступенчатого рельефа. На нижних ступенях выположенного рельефа латеритные покровы, как правило, безбокситовые.

Из практики добычных работ в регионе к бокситам относятся породы латеритных кор выветривания, подсчет запасов которых проводится при бортовом содержании Al_2O_3 от 37 до 40%, реже до 45%. Соответственно, средние значения для месторождений этой провинции, подсчитанные при бортовом содержании $Al_2O_3 \geq 40\%$, находятся для Al_2O_3 в диапазоне от 42 до 46% при среднем содержании SiO_2 в основном в пределах 1,5–3%. На этом фоне на отдельных месторождениях средние значения содержания Al_2O_3 повышаются до 48–51%, а на месторождении Сангареди и ряде соседних — до 55–61% в отдельных залежах.

На нижних ступенях рельефа преобладают железистые латериты, в которых содержание Al_2O_3 уменьшается ниже 37%, а содержание SiO_2 повышается не очень существенно — до 4–6% в среднем в верхних 2–4 м латеритных покровов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Современный рыхлый элювий на месторождениях бокситов представляет собой гетерогенное образование, состоящее из обломков (от мелкой дресвы до глыб более 30–50 см) местных бокситов, латеритов и сероцветных суглинков, а также железистых пизолитов — аутигенных образований. Мощность этого горизонта меняется в широких пределах — от нескольких сантиметров до 1,5–2 м на залесенных участках пологих склонов бовалей. Эти рыхлые образования почти на полную мощность пронизаны корневой системой травяной и древесно-кустарниковой растительности и выделяются на месторождениях как почвенно-растительный горизонт.

По приуроченности к микроландшафтам эти рыхлые современные образования можно разделить на три группы:

- на плоских участках бовалей с травянистой растительностью;
- на плоских склонах бовалей с древесно-кустарниковой растительностью;
- занимающие промежуточное положение.

Как видно из данных табл. 2, гранулометрический состав этих трех типов почв отличается прежде всего количеством материала мелких (песчано-глинистых) фракций, которого больше на покрытых древесно-кустарниковой растительностью склонах, тогда как на открытых поверхностях бовалей резко преобладают крупные фракции, представленные обломками и глыбами бокситов и латеритов.

Таблица 2

Гранулометрический состав различных фракций современных рыхлых образований на месторождениях бокситов, %

Фракция, мм	Микроландшафтные обстановки на месторождениях бокситов			
	пологие поверхности	промежуточная ситуация	склоны бовалей	среднее
>100	5,9	4,2	13,7	7,9
50–100	12,3	3,5	6,2	7,3
25–50	16,0	6,8	9,4	10,7
12–25	25,5	10,8	12,9	16,4
8–12	16,8	18,2	8,8	14,6
Всего крупные фракции	76,4	43,5	51,4	57,1
5–8	8,3	19,3	6,4	11,3
2–5	7,5	21,7	7,8	12,3
Всего средние фракции	15,8	41,0	14,2	23,6
1–2	2,0	3,9	3,3	3,1
0,5–1	1,6	2,3	12,3	5,4
0,25–0,5	1,2	3,1	8,3	4,2
<0,25	2,9	6,1	10,5	6,5
Всего мелкие фракции	7,8	15,4	34,4	19,2

В среднем в почвенных образованиях преобладает материал крупных и средних фракций. Очень четко наблюдается зависимость химического состава от размерности материала в различных фракциях, что хорошо видно из данных, приведенных в табл. 3.

Прежде всего отметим, что грубообломочные фракции имеют химический состав, близкий к таковому у местных бокситов.

Во фракциях от мелкогравийной до грубопесчаной резко возрастает содержание железа в основном за счет большого количества так называемых почвенных пизолитов. Это округлые обломки гравийной размерности, в которых концентры колломорфной структуры железистого состава обрастают мелкими угловатыми обломками — центрами, образуя округлые формы пизолитов.

В мелко-среднепесчаных фракциях, особенно в алевроито-глинистых, резко увеличивается содержание кремнезема за счет мелкого кварца и глинистого материала.

Важная особенность минерального состава мелких фракций — наличие в них минералов, несвойственных подстилающим бокситам и неустойчивых при латеритном выветривании, таких, как хлорит и калиевые полевые шпаты. В заметном количестве ($\geq 5\%$) появляются глинистые минералы — каолинит и монтмориллонит, также нехарактерные для верхней части латеритного покрова. Это свидетельствует об аллохтонной природе алевроглинистого материала за счет эолового привноса из Сахары ветрами харматтан [Домбровская и др., 1998]. Часть глинистого материала, как это отмечал еще Б.М. Михайлов [Михайлов, Куликова, 1977], обязана регенерации при разложении отмершей травяной растительности, в составе которой установлено присутствие кремния. Рентгенодифрактометрическим анализом установлено значительное, в отдельных определениях до 55%, содержание рентгеноаморфной фазы.

Глинистое вещество также появляется на поверхности в результате деятельности термитов, которые для постройки термитников выносят глину из нижних горизонтов коры выветривания [Bardossy, Aleva, 1990].

Однако подавляющая часть современных рыхлых образований на месторождениях представлена продуктами физического разрушения бокситов и латеритов на месте с возможным плоскостным смещением, т. е. их можно уверенно относить к образованиям элювиального и элювиально-делювиального генезиса.

Влияние эолового материала на состав поверхностных образований можно рассматривать как постоянный фактор, во всяком случае с мифом — времени безусловного существования в Африке пустыни севернее зоны саванны и сахеля.

В песчано-глинистых фракциях присутствует свободный кремнезем, т. е. кварц, который точно (в алевроитовой размерности) принесен из Сахары.

Таблица 3

Химический состав различных фракций почвенного покрова, %

Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Крупногравийные, галечные и валунные фракции								
>100	1,25	50,44	2,64	20,36	0,02	0,02	0,18	24,46
50–100	1,47	52,48	2,65	17,48	0,02	0,02	0,18	25,09
25–50	1,18	54,65	2,94	15,95	0,02	0,02	0,17	24,48
12–25	0,96	51,82	2,66	20,58	0,01	0,02	0,23	23,09
8–12	0,86	48,36	2,38	26,42	0,02	0,01	0,26	21,08
Грубопесчаные, мелко- и среднегравийные фракции								
5–8	1,33	43,98	2,31	31,56	0,03	0,02	0,3	19,81
2–5	2,65	39,14	2,17	36,96	0,02	0,03	0,34	18,05
1–2	8,6	34,8	2,09	37,4	0,03	0,05	0,32	16,04
Мелко- и среднепесчаные фракции								
0,5–1	34,29	26,14	2,06	16,34	0,12	0,24	0,22	20,02
0,25–0,5	41,73	25,8	2,17	10,6	0,12	0,25	0,19	18,49
<0,25	47,45	23,03	2,17	7,97	0,14	0,29	0,17	18,14
Алевритовые и глинистые фракции								
0,10–0,25	41,54	20,65	2,2	7,95	0,22	0,38	н.о.	25,33
0,04–0,10	40,6	21,35	2,3	7,75	0,18	0,38	н.о.	25,33
<0,04	51,39	17,18	1,93	6,25	0,15	0,3	н.о.	20,91

Таблица 4

Химический состав рыхлых образований и подстилающих бокситов, %

Боваль	Проба	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	LOI	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	Σ
НД Ангара	рыхлые	5,27	46,34	20,59	3,61	23,26	н.о.	0,02	0,06	99,23
	боксит	1,43	50,70	17,4	3,44	26,33	н.о.	н.о.	н.о.	99,3
	рыхлые	10,43	43,8	18,83	3,48	22,47	н.о.	0,03	0,1	99,24
	боксит	0,87	57,9	6,8	2,98	30,58	н.о.	н.о.	н.о.	99,4
	рыхлые	11,43	44,03	17,26	3,53	22,75	н.о.	0,03	0,11	99,27
	боксит	0,3	57,20	5,4	6,8	29,56	н.о.	н.о.	н.о.	99,26
Бунде-Вааде	рыхлые	22,02	37,88	14,58	3,91	20,51	н.о.	0,06	0,14	99,16
	боксит	0,93	48,60	17,5	6,69	25,48	н.о.	н.о.	0,01	99,23
	рыхлые	19,42	39,48	18,55	2,58	19,12	0,16	0,02	0,09	99,54
	боксит	2,64	47,2	21	2,58	25,82	0,12	0,03	0,01	99,51
Тиapiкуре	рыхлые	11,8	41,69	22,38	2,3	20,86	0,24	0,05	0,08	99,51
	боксит	1,13	49,1	20,5	3,18	25,24	0,18	н.о.	0,02	99,49
Буроре	рыхлые	7,18	50,88	15,46	2,09	23,42	0,22	0,05	0,06	99,45
	боксит	0,97	54,2	15	2,22	26,83	0,12	н.о.	0,03	99,46
Вуассо	рыхлые	6,47	41,4	28,47	2,57	20,07	0,29	0,03	0,05	99,53
	боксит	2,09	41,2	30,4	2,86	22,59	0,14	0,02	0,02	99,51
	рыхлые	2,45	45,78	26,71	2,78	21,27	0,27	0,03	0,02	99,55
	боксит	1,34	44,4	25,9	3,29	24,17	0,18	0,01	0,02	99,49
Среднее	рыхлые	11,76	43,09	19,22	3,03	21,89	0,23	0,04	0,1	99,31
	боксит	1,1	50,54	17,5	3,58	26,51	0,15	0,01	0,01	99,35

Несмотря на то что в рассматриваемой выборке из 14 проб в большинстве случаев элювиально-делювиальные образования формировались при разрушении бокситов высокого качества (см. состав крупных фракций в табл. 3), их валовый состав большей частью оказывается менее качественным по сравнению с подстилающими бокси-

тами (табл. 4), а в зоне мобилизации материала для последующего переотложения даже не бокситовый. Эти образования относят к рыхлой вскрыше и не вовлекают в эксплуатацию бокситов, так как наряду с высоким содержанием кремнезема в них присутствует большое количество органического вещества.

Таблица 5

Гранулометрический состав аллювиальных отложений р. Когон, %

Фракции, мм	Современные аллювиальные отложения р. Когон				
	галечно-гравийно-песчаные	песчано-гравийные с включениями мелкой гальки		гравийно-песчаные	гравийно-песчано-глинистые
	прибрежная отмель, К-3	обводненное русло, К-1	коса, К-2	переход от русла к пойме, К-4	низкая пойма, К-5
>100	2,5	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
50–100	27,54	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
25–50	36,78	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
10–25	19,09	25,35	31,51	49,85	11,11
1–10	11,11	64,98	63,84	32,73	40,74
0,5–1	1,32	4,15	2,33	7,92	13,76
0,25–0,5	0,99	2,77	1,17	6,33	13,76
<0,25	0,66	2,77	1,17	3,17	20,64

Прежде чем перейти к анализу обстановок в зоне возможного накопления переотлагаемого материала, отметим, что между днищами долин рек и вершинами бовалей с бокситами почти повсеместно существуют низкие ступени рельефа, в пределах которых развиты высокожелезистые латериты. Соответственно, с этих участков в зону накопления поступает преимущественно небокситовый материал даже в крупных фракциях.

Из данных гранулометрического анализа 5 проб аллювиальных отложений из долины р. Когон (табл. 5) видно, что практически во всех случаях, независимо от фациальной обстановки, по количеству преобладает (от 52 до 90%) гравийный материал и только на прибрежной отмели больше галечного материала. На низкой пойме, в отличие от русловых фаций, резко увеличивается количество песчано-глинистого материала, от которого русловый аллювий хорошо отмыт. Лишь в переходных фациях количество песчано-глинистого материала увеличивается, но в меньшей степени, чем в пойменных отложениях.

Несмотря на близость к месторождениям бокситов самого высокого качества, даже в крупных фракциях (гравийных и галечно-гравийных) руслового аллювия содержание глинозема относительно высокое (38,7–45%), а минимальное содержание кремнезема не снижается ниже 8,66% (табл. 6). Визуальное описание литологического состава материала фракций показывает, что наряду с гравием и галькой, сложенной бокситами разного качества, присутствуют обломки слабовыветрелых коренных пород — долеритов, песчаников и алевроаргиллитов. Поэтому наблюдается повышенное содержание кремнезема по сравнению с аналогичными фракциями в почвенном горизонте на месторождениях.

В аллювии прибрежной отмели (проба К-3) особенно много обломков коренных пород (в основном роговиков) и железистых латеритов, поэтому во фракциях гравийно-галечной размер-

ности повышено содержание кремнезема и железа. Это объясняется тем, что долина р. Когон в этом районе еще не выработана до базиса эрозии, и в реке обнажаются и размываются местные коренные породы.

В отложениях поймы, в которых около 50% приходится на песчано-глинистую составляющую, как и следовало ожидать, бокситового материала очень мало, и эти отложения далеки по составу от бокситов. Но в них присутствует большое количество обрывков растительности и корней, за счет чего резко увеличиваются потери при прокаливании.

Как показывает валовый состав современного аллювия р. Когон, даже хорошо промытые от мелких фракций русловые фации (пробы К-1, К-2 и К-3) нельзя отнести к кондиционным бокситам, а тем более к потенциальным рудам хорошего качества. Аналогичный результат был получен при изучении современного аллювия р. Саму в районе месторождений бокситов Дебеле и Баландугу [Мамедов, 1975].

В процессе геологоразведочных и картировочных работ в бокситорудных районах провинции Фута Джалон-Мандинго в современном аллювии рек не встречены скопления бокситов, которые можно было бы рассматривать как месторождения механогенно-осадочного генезиса.

Только в одном случае — в аллювии р. Тингилинта под горизонтом молодого современного аллювия (с остатками древесины, возраст которой определен в 1600 ± 100 лет) опробован горизонт крупногалечного аллювия более древнего, чем аллювий р. Когон. В табл. 7 приведены химический состав крупногалечных отложений по фракциям и их гранулометрический состав.

Отметим, что на поверхности галек и гравия наблюдалась глинистая пленка. Данные химического анализа глинистой пленки и глины из междугалечного пространства приведены в табл. 8. Из приведенных данных видно, что 59% от валового

Таблица 6

Химический состав (%) современного аллювия р. Когон по фракциям и данные о их гранулометрическом составе (ГС)

Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	RO+R ₂ O	LOI	ГС
Обводненное русло, проба К-1							
>10	9,53	45,00	1,89	20,20	0,36	22,23	25,35
1–10	8,66	42,40	1,81	24,00	0,25	21,98	64,98
0,5–1	20,20	36,90	1,82	20,40	0,37	19,35	4,15
0,25–0,5	27,78	33,70	1,62	18,10	0,45	17,44	2,77
<0,25	28,93	34,50	3,41	14,30	0,56	17,45	2,77
Валовый состав	10,45	42,37	1,87	22,46	0,30	21,68	
Коса, проба К-2							
>10	11,26	44,00	1,96	19,70	0,39	21,99	31,51
1–10	9,02	41,00	1,75	25,40	0,29	21,53	63,84
0,5–1	22,24	32,90	1,61	23,50	0,41	18,31	2,33
0,25–0,5	25,90	33,00	1,87	20,30	0,38	17,62	1,17
<0,25	30,37	29,60	2,76	19,60	0,53	16,24	1,17
Валовый состав	10,48	41,53	1,83	23,43	0,32	21,49	
Прибрежная отмель, проба К-3							
>100	53,55	27,80	1,52	9,10	3,26	4,13	2,50
50–100	32,47	37,10	2,17	11,50	1,97	14,11	27,54
25–50	44,36	27,40	1,61	14,70	2,66	8,58	36,78
10–25	24,62	29,30	1,53	29,20	1,31	13,22	19,09
1–10	9,93	31,60	1,50	37,20	0,38	18,28	11,11
0,5–1	14,63	31,70	1,51	31,70	0,32	18,98	1,32
0,25–0,5	26,77	31,30	1,68	21,10	0,44	17,77	0,99
<0,25	43,98	32,90	2,08	5,80	0,48	14,13	0,66
Валовый состав	33,15	31,04	1,74	19,18	1,91	12,22	
Зона перехода от русла к пойме, проба К-4							
>10	16,06	40,70	1,89	19,90	0,72	19,92	49,85
1–10	10,85	38,70	1,81	25,90	0,31	21,46	32,73
0,5–1	27,10	33,00	1,51	17,50	0,42	19,71	7,92
0,25–0,5	33,52	31,30	2,65	13,60	0,79	17,33	6,33
<0,25	33,99	25,30	5,62	18,80	0,62	14,82	3,17
Валовый состав	16,90	38,35	2,00	21,24	0,66	20,08	
Низкая пойма, проба К-5							
>10	11,38	10,24	1,11	6,75	0,90	69,32	11,11
1–10	16,88	12,63	1,15	8,65	1,06	56,30	40,74
0,5–1	22,50	18,20	1,63	10,50	0,62	42,22	13,76
0,25–0,5	26,00	20,23	1,79	10,05	1,18	33,52	13,76
<0,25	28,10	25,85	1,75	10,75	0,67	28,23	20,64
Валовый состав	20,61	16,90	1,42	9,32	0,92	46,88	

Таблица 7

Химический состав (%) отложений «древнего» аллювия р. Тингилинга по фракциям и их гранулометрический состав (ГС)

Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	ГС
>100	5,83	57,50	2,46	5,80	0,01	н.о.	н.о.	0,09	27,59	3,13
50–100	4,60	58,10	3,07	5,10	0,01	н.о.	н.о.	0,05	28,33	15,95
25–50	3,33	59,20	3,07	6,20	0,01	н.о.	н.о.	0,06	27,40	19,28
10–25	6,40	55,90	2,64	9,10	0,01	н.о.	н.о.	0,11	25,06	20,55
1–10	27,29	41,10	2,42	10,30	0,04	н.о.	н.о.	0,32	17,69	32,39
0,5–1	37,63	36,30	2,31	7,40	0,04	н.о.	н.о.	0,41	15,12	2,61
0,25–0,5	35,11	27,70	5,99	15,90	0,25	н.о.	н.о.	0,44	13,69	2,61
<0,25	42,42	32,90	2,67	7,50	0,04	н.о.	н.о.	0,53	13,22	3,48
0,1–0,25	48,13	28,74	3,48	6,35	0,16	0,21	н.о.	н.о.	12,70	
0,04–0,1	46,25	29,55	3,05	6,10	0,29	0,27	н.о.	н.о.	12,98	
0,005–0,04	44,55	31,58	2,18	6,20	0,02	0,16	0,086	0,88	13,78	
Валовый состав	15,09	50,09	2,79	8,27	0,03	н.о.	н.о.	0,19	22,76	

Таблица 8

Химический состав (%) галек, их глинистой пленки и глины-заполнителя в гравийно-галечных отложениях «древнего» аллювия р. Тингиланта

Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Глина с поверхности галек	30,38	45,24	2,80	3,90	0,14	0,12	0,025	0,18	16,36
Гальки из аллювия	4,95	59,25	3,72	8,10	0,01	0,02	0,021	0,034	24,36
Глина из межгалечного пространства	39,38	35,70	2,52	5,50	0,01	0,095	0,044	0,28	16,47

Таблица 9

Химический состав (%) крупногалечного молодого руслового аллювия и отложений поймы р. Тингиланта по фракциям и их гаулометрический состав (ГС)

Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	RO+R ₂ O	LOI	ГС
Аллювий р. Тингиланта, крупные галечники нижней части разреза, Т-2							
>100	2,39	57,50	3,43	6,90	0,05	29,01	20,91
50–100	7,19	53,80	3,00	8,80	0,29	26,26	25,43
25–50	7,10	54,00	2,71	9,90	0,25	25,35	7,11
10–25	9,23	50,50	2,51	12,70	0,22	23,97	34,91
1–10	6,59	43,40	1,92	23,90	0,13	22,96	9,05
0,5–1	11,62	41,80	1,66	21,70	0,15	21,92	0,86
0,25–0,5	24,76	37,20	1,65	16,50	0,22	18,74	0,86
<0,25	47,51	24,00	2,87	12,10	0,33	12,44	0,86
Валовый состав	7,38	51,99	2,78	11,42	0,19	25,45	
Пойменные фации молодого аллювия р. Тингиланта, Т-4							
>1	43,61	28,80	2,54	8,70	0,44	15,24	18,24
0,5–1	48,36	24,30	2,63	9,70	0,44	13,90	37,74
0,25–0,5	30,55	32,70	2,24	15,80	0,33	17,60	18,87
<0,25	50,35	23,20	2,84	9,60	0,43	12,97	25,16
0,1–0,25	48,13	25,28	2,25	8,40	0,34	15,04	
0,04–0,1	58,12	16,34	3,25	6,30	0,41	11,48	
0,005–0,04	48,25	21,03	2,30	6,80	0,92	20,32	
Валовый состав	44,63	26,43	2,59	10,64	0,41	14,61	

состава древнего аллювия представлено крупным гравием и галькой очень высококачественных бокситов, характерных для месторождений группы Сангареди. Пленка на гальках — продукт ресилификации бокситов, так как по данным дифрактометрического анализа в этой глине присутствует (20%) большое количество бёмита, близкое к его содержанию в этих гальках. В то же время в пробе глин из межгалечного пространства отмечено всего 2% бёмита.

Однако по валовому составу эти отложения хотя и отличаются высоким содержанием глинозема, но имеют также недопустимо большое для высококачественных бокситов содержание кремнезема. Кремнезем присутствует в основном в форме каолинита с подчиненным количеством смешанослойных глинистых минералов (иллит-монтмориллонит), а также кварца.

Залегающие выше более молодые галечники, вероятно, образовались в том числе за счет перемива нижележащих (древних) галечников (это в определенной степени условное обозначение, так как верхние галечники, безусловно, голоценовые — современные, а нижние — либо раннеголоценовые, либо позднеплейстоценовые). По-видимому, в процессе перемива произошла более плотная упаковка галек и крупного гравия, их удельное количество увеличилось до 88%, а количество песчано-глинистого цемента уменьшилось. Соответственно, в валовом составе этих галечников уменьшилась концентрация кремнезема. Эти породы уже можно отнести к бокситам достаточно высокого качества (табл. 9, проба Т-2), но с повышенным содержанием реактивного кремнезема (в основном в форме глинистых минералов), что понижает промышленную ценность таких руд.

Таблица 10

Химический состав (%) наименее латеритизированных отложений серии Сангареди

Наименее латеритизированные отложения серии Сангареди, (глубина, м)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ моно	LOI	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
Гравийно-галечные, скв. 57024b (36–37)	43,54	37,39	1,77	3,22	0,20	13,05	11,6
Гравийные с песчано-глинистым заполнителем, скв. 57633b (32–34)	42,06	35,87	1,94	5,14	0,20	14,40	7,0
Песчано-глинистые и глинисто-песчаные, скв. 57118b (34,5–35)	41,02	38,84	2,04	3,70	2,17	13,88	10,5
Глины малопесчаные, скв. 58023 (35–36)	43,50	38,57	1,93	1,64	0,25	13,91	23,5

При этом необходимо подчеркнуть, что столь высокое содержание глинозема в гравийно-галечном аллювии р. Тингилинта обязано наличию в зоне мобилизации бокситов экстракачества типа Сангареди. Но в самих бокситах типа Сангареди содержание кремнезема в основном находится на уровне 0,5–1,5%. При этом в материнском субстрате этих конгломерат-гравелитовых, гравелит-песчаниковидных и песчаниковидных бокситов песчано-глинистый заполнитель — цемент чаще был базального типа, т.е. его количество было больше, чем заполнителя пор. Ясно, что исходные материнские отложения серии Сангареди осадочной стадии формирования бокситов по валовому составу были далеки от бокситов, тем более высокого качества. Это подтвердилось тем, что в нижних горизонтах месторождения Сангареди выявлены нелатеритизированные обеленные и ресилифицированные исходные отложения серии Сангареди. В табл. 10 приведен химический состав таких отложений, это практически каолиновые глины с некоторым количеством минералов свободного глинозема.

Отметим, что на поверхности галек бокситов древнего аллювия р. Тингилинта процесс ресилификации уже проявился. Аналогичные факты отмечены и в бассейне р. Саму, причем за несколько тысяч, может быть, за несколько десятков тысяч лет. Легко представить, что произойдет с этими гравийно-галечными отложениями через более длительное геологическое время, имея реальный пример с аллювиально-озерными отложениями серии Сангареди.

Что касается пойменного аллювия р. Тингилинта, то по валовому составу (табл. 9) он, как и аллювий поймы р. Когон, никак не соответствует бокситам. Но и в мелкогравийных и крупнопесчаных фракциях кремниевый модуль (Al_2O_3/SiO_2) меньше 1, т. е. их состав далек от бокситов.

Выводы. 1. Уже в верхней части фациального профиля континентальных образований элювиальных и элювиально-делювиальных генетических типов — в зоне мобилизации продуктов разруше-

ния бокситоносных латеритных покровов — происходит дифференциация их химического состава в соответствии с гранулометрией обломочного материала. Эта закономерность наследуется в зоне накопления переотложенного материала. Соответственно, только крупнообломочные накопления могут приближаться по валовому химическому составу к бокситам, но из-за мелкообломочного, преимущественно глинисто-песчаного заполнителя, всегда присутствующего в этих образованиях, переотложенные бокситы и нижележащие глины не могут образовывать месторождения руд высокого качества.

2. Ни в одном случае наблюдений в рассматриваемом и других районах провинции Фута Джалон-Мандинго песчано-глинистые отложения речных долин и местных озер не привели к образованию механогенно-осадочных залежей бокситов, что связано с невозможностью отделить в природном процессе переотложения мелкие зерна гиббсита от каолинита и кварца. Соответственно, попытки трактовать генезис таких классических латеритных месторождений, как Дебеле, в качестве осадочного в некотором гипотетическом древнем водоеме [Шибистов, 2000] абсолютно безосновательно.

3. Если механогенно-осадочные отложения на стадии их обводнения подвергаются эпигенетическим изменениям в глеевой геохимической обстановке (обелению — выносу железа и ресилификации), то может образоваться новый материнский субстрат, благоприятный (с высоким железистым модулем ($Al_2O_3/Fe_2O_3 > 5$), как это имеет место в древнем аллювии р. Тингилинта или еще более древнем в отложениях серии Сангареди), для последующего латеритного образования по ним бокситовых залежей экстракачества (например, месторождение Сангареди).

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания АААА-А16-116033010105-7, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Домбровская Ж.В., Котельников Д.Д., Слукин А.Д., Шлыков В.Г. Ранние стадии преобразования современных осадков северной аридной зоны Восточной Атлантики // Докл. РАН. Сер. Геол. 1998. Т. 362, № 6. С. 798–802.

Мамедов В.И. Фации современных рыхлых континентальных образований бассейна р. Саму и их возможная бокситоносность // Новые данные по геологии бокситов. М.: ВИМС, 1975. Вып. 3. С. 104–115.

Михайлов Б.М., Куликова Г.В. Фациальный анализ кор выветривания. Л.: Недра, 1977. 159 с.

Савко А.Д., Бугельский Ю.Ю., Новиков В.М. и др. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. М.; Воронеж: Истоки, 2007. 355 с.

Шибистов Б.В. Латериты и континентальные бокситы. Красноярск: КНИИГиМС, 2000. 453 с.

Bardossy G., Aleva G.J.J. Lateritic bauxites // Develop. Econ. Geol. Vol. 27. Elsevier Sci. Publ., 1990. 624 p.

Mamedov V.I., Chausov A.A., Makarova M.A. Principal conditions and geochemical trends in formation of high-grade

bauxite deposits, Republic of Guinea // 16th Intern. Symp. on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th Intern. Symp. on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference) E3S Web Conf. Vol. 98. France, 2019. P. 1–5.

Mamedov V., Chausov A., Okonov E. et al. Map of the bauxite potential of the Republic of Guinea (Updated) // 6th Intern. Bauxite-Alumina Symp. «Sustainable development of bauxite & alumina industry in Guinea» (IBAAS). Vol. 6. Guinea, Conakry, 2017. P. 20–25.

Поступила в редакцию 11.09.2019

Поступила с доработки 00.00.2020

Принята к публикации 00.00.2020