

УДК 553.492.1+553.21/.24

УНИКАЛЬНАЯ РОЛЬ ПОРОВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ БОКСИТОВ В ЛАТЕРИТНЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ (ГВИНЕЙСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

М. А. Макарова^{1,*}, В. И. Мамедов¹, Ю. В. Алехин¹, Е. С. Шипилова²

Представлено академиком РАН Д. Ю. Пушаровским 24.05.2019 г.

Поступило 10.06.2019 г.

В результате гидрогеохимических исследований бокситоносных латеритных покровов провинции Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка) впервые выявлены особенности поровых растворов в гидрогеологической зоне аэрации и инфильтрации. Показано, что содержания их главных компонентов — алюминия и железа — на порядки выше по сравнению с другими типами вод латеритных покровов. Обоснована определяющая роль поровых растворов в перераспределении вещества в профиле выветривания бокситоносных латеритов.

Ключевые слова: поровые растворы, латеритные бокситы, гидрогеологическая зональность, гидрогеохимия, коры выветривания, Гвинея.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652489165-69>

Крупнейшую в мире бокситоносную провинцию Фута Джалон-Мандинго в Западной Африке, имеющую всего 110 000 км² площади, но содержащую практически 50% мировых ресурсов бокситов (более 47 млрд т), подсчитанных при высоком ($\geq 40\%$) бортовом содержании Al_2O_3 [1], можно считать наиболее благоприятной природной моделью в отношении внешних условий и направленности геохимических процессов для крупномасштабного формирования бокситоносных латеритных покровов.

В отличие от обширной информации о геологическом строении, о химическом, минералогическом и геохимическом составах пород латеритных кор выветривания (ЛКВ) — твёрдой фазы, гидрогеохимия различных поверхностных и особенно подземных внутрикоровых вод изучена очень слабо.

Применительно к территории Гвинейской Республики можно отметить единичные данные в области гидрогеохимии. Наиболее систематизированный вклад в исследования грунтовых и поверхностных вод Гвинеи внёс С.Л. Шварцев (1978, 1998, 2007, 2008) [2]. Особо ценным является определение главных обстановок, условий, тенденций и механизмов, которые приводят к преимущественному накоплению железа и алюминия в ЛКВ, сопровож-

дающееся формированием особого гидрохимического типа вод: кислого железисто-алюминиевого. Однако, как и большинство других исследователей, он не рассматривал (даже теоретически) возможную специфику поровых растворов в профиле выветривания.

Первые режимные гидрогеологические наблюдения в течение полного годового климатического цикла в латеритных бокситоносных покровах были проведены на месторождении Дебеле в Гвинее в 1970 г. Это позволило впервые на конкретном фактическом материале показать прямую корреляцию между мощностью бокситов и мощностью зоны аэрации и инфильтрации в сезон дождей [3].

В этот сезон активного периода латеритного выветривания выпадающие на поверхность бовалей атмосферные осадки создают три гидродинамически и количественно различных потока.

Одна часть выпавших осадков скатывается по поверхности бовалей и их склонам, питая напрямую систему ручьёв и рек.

Вторая часть атмосферных вод также значительная, по трещинам, каналам и кавернам каменистых пород латеритного покрова быстро проваливается, не теряя кислород, к зеркалу грунтовых вод, вызывая его подъём; затем до следующего дождя зеркало грунтовых вод опускается и снова поднимается в следующий дождь.

Третья часть дождевых вод пропитывает и насыщает водой рыхлый почвенно-растительный гори-

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

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

*E-mail: frolikovam@gmail.com

зонт и нижележащие пористые латериты и бокситы, образуя гидравлический фронт поровых растворов, который под действием каждой следующей порции атмосферных осадков медленно просачивается вниз до встречи с зеркалом грунтовых вод. Длительный контакт с остатками отмершей растительности и их корневой системы в биологически активной (насыщенной бактериями) среде приводит быстро к потере кислорода из этих поровых вод с образованием активных органических кислот, а при полной трансформации органического вещества — к образованию CO и CO₂. Эти газы периодически от дождя к дождю накапливаются над зеркалом грунтовых вод в нижней части зоны аэрации.

Типовое зональное строение латеритных бокситоносных кор выветривания приведено на рис. 1. Из этих фактических данных хорошо видно, что литологическая, геохимическая и минералогическая зональности в профиле бокситоносной коры выветривания соответствуют вертикальной гидрогеологической зональности и изменениям газового режима в подземной атмосфере в сезон дождей.

Учитывая мощное абсолютное накопление железа и в меньшей степени алюминия в зоне колебания зеркала грунтовых вод, ясно, что грунтовые воды в своей верхней части обеспечивают действие активного окислительного геохимического барьера [4]. И это понятно, так как та значительная часть выпадающей дождевой воды, быстро проваливающаяся к зеркалу грунтовых вод, практически не успевает потерять кислород. Следовательно, в зоне инфильтрации и аэрации должны существовать другие воды — растворы, осуществляющие перенос вещества сверху вниз до встречи с зеркалом грунтовых вод, которые были отнесены к поровым растворам. Логично предположить, что химизм поровых растворов должен очень существенно отличаться от состава грунтовых вод.

Из-за высокой плотности каменистых пород в районе исследования методики вытеснения поровых растворов спиртом или выдавливание прессом, хорошо работающие на рыхлых и влажных породах, к сожалению, неприменимы. Поровые растворы (34 пробы) были отобраны с помощью ватного по-

| Зоны-горизонты латеритной коры выветривания | | Гидрогеологическая зональность и изменение состава подземной атмосферы в сезон дождей | Динамика привноса (Rc > 1) и выноса (Rc < 1) главных породообразующих компонентов в профиле латеритной коры выветривания | |
|---|--|---|--|--|
| Почвенный горизонт | | | $\frac{Al_2O_3}{0,94} < 1 < \frac{LOI}{1,03} < \frac{TiO_2}{1,09} < \frac{Fe_2O_3}{1,50} < \frac{SiO_2}{2,52} < \frac{RO + R_2O}{2,97}$ $\frac{RO + R_2O}{0,82} < \frac{TiO_2}{0,84} < \frac{Al_2O_3}{0,88} < \frac{LOI}{0,92} < 1 < \frac{SiO_2}{1,69} < \frac{Fe_2O_3}{1,58}$ | |
| Латеритный покров | Железистая кираса | | увеличение Зона аэрации и инфильтрации ↓ CO ₂ | $\frac{SiO_2}{0,40} < \frac{Fe_2O_3}{0,48} < \frac{RO + R_2O}{0,67} < 1 < \frac{TiO_2}{1,16} < \frac{LOI}{1,2} < \frac{Al_2O_3}{1,32}$ |
| | Красные структурные бокситы | | | Зона колебания уровня грунтовых вод Периодическое обогащение воды O ₂ |
| Латериты верхней части переходной зоны | Светлые структурные бокситы | | Зона постоянного обводнения | |
| | Латериты нижней части переходной зоны | $\frac{RO + R_2O}{0,28} < \frac{SiO_2}{0,61} < \frac{Fe_2O_3}{0,82} < \frac{TiO_2}{0,86} < \frac{Al_2O_3}{0,94} < 1 < \frac{LOI}{1,91}$ | | |
| Горизонт глин | Каолинитовые глины железистые Каолинитовые глины светлые Полиминеральные каолинит-монтмориллонитовые глины | Относительный водоупор | $\frac{RO + R_2O}{1} ; \frac{SiO_2}{1} ; \frac{Fe_2O_3}{1} ; \frac{TiO_2}{1} ; \frac{Al_2O_3}{1} ; \frac{LOI}{1}$ | |
| Материнские породы | | | $\frac{RO + R_2O}{1} ; \frac{SiO_2}{1} ; \frac{Fe_2O_3}{1} ; \frac{TiO_2}{1} ; \frac{Al_2O_3}{1} ; \frac{LOI}{1}$ | |

↘ Быстро проваливающиеся по трещинам атмосферные воды ↓ Поровые растворы

Рис. 1. Зональное строение латеритных бокситоносных кор выветривания с расчётом привноса—выноса вещества на изоволюметрической основе (по отношению к нижележащему горизонту).

плотителя влаги, заложенного в шпур в стенках шурфов на месторождениях бокситов.

На рис. 2 видно, что среди 34 проб, отобранных как поровые, по содержанию в них главного целевого компонента бокситов — алюминия, достаточно чётко разделяются три группы. Первую группу, в которую вошли 25 проб, следует рассматривать как наиболее разбавленные дождевой водой поровые растворы. Только третью группу растворов можно считать наименее разбавленными, в которых содержания алюминия достигают 2,26 мг/л, и даже в среднем (из четырёх проб) 1,78 мг/л почти на два порядка превышают содержания этого элемента в других типах подземных и поверхностных вод. Вторая группа проб занимает промежуточное положение между наиболее и наименее разбавленными поровыми растворами, подтверждая факт разбавления в различной степени. Благодаря именно поровым растворам в нижней части зоны инфильтрации над зеркалом грунтовых вод, в зоне, обогащённой CO_2 , происходит абсолютное накопление глинозёма (рис. 1, зона светлых бокситов).

Принципиальное отличие поровых растворов (III группа) от других типов вод (атмосферные, поверхностные, из зоны колебания уровня грунтовых вод) подтверждается и по содержанию в них микроэлементов [5]. Из более чем 50 проанализированных методом ИСП–МС на приборе Element-2 (“Thermo Finnigan”) микроэлементов для 38 из них содержания максимальные (рис. 3).

Несмотря на то что большинство проб, отобранных как поровые растворы, оказались сильно разбавленными за счёт наличия водопроницаемых

трещин, пересекающих шпур, пробы третьей группы однозначно подтверждают особую специализацию поровых растворов.

Рассмотренные фактические данные позволяют сделать следующие выводы:

впервые в зоне аэрации и инфильтрации бокситоносных латеритных кор выветривания подтверждено, что существуют поровые растворы, химизм которых принципиально отличается от других типов вод;

именно поровые растворы являются главным реагентом и транспортом при перераспределении макро- и микроэлементов в профиле латеритного выветривания;

в слабозабавленном состоянии поровые растворы рассматриваемого региона должны ещё более значительно отличаться по своему геохимическому составу от других типов вод в латеритной коре выветривания и поверхностного стока, как это имеет место в поровых растворах субтропиков Грузии [6];

наиболее разбавленные поровые растворы близки по составу дождевым водам и вместе со свободно проходящими (проваливающимися по открытым трещинам и каналам) водами зоны инфильтрации питают подземные грунтовые воды, периодически обогащая их кислородом;

верхние слои этих грунтовых вод выполняют роль интенсивного геохимического окислительного барьера для истинных поровых растворов, когда их гидравлический фронт достигает (опускается) зеркала грунтовых вод;

дождевые воды, попадая на дневную поверхность, практически одновременно начинают питать две

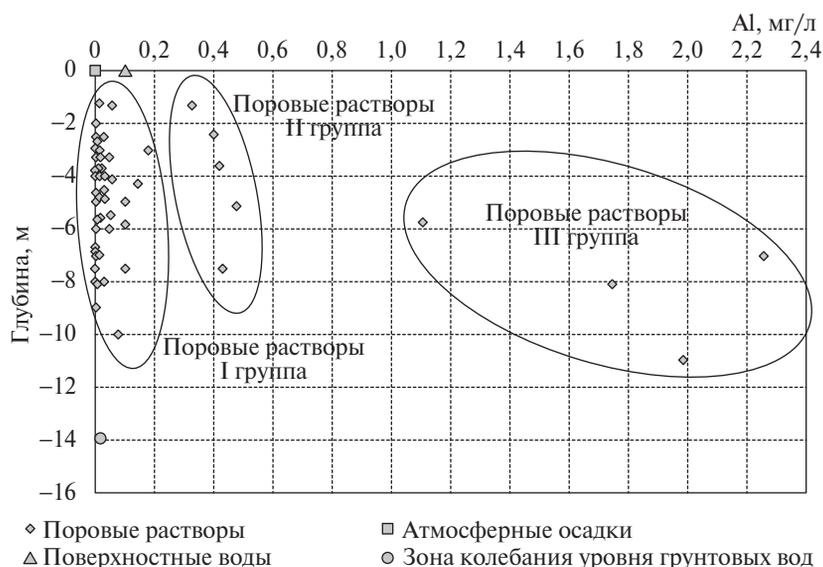


Рис. 2. Содержания алюминия в различных типах вод латеритной бокситоносной коры выветривания.

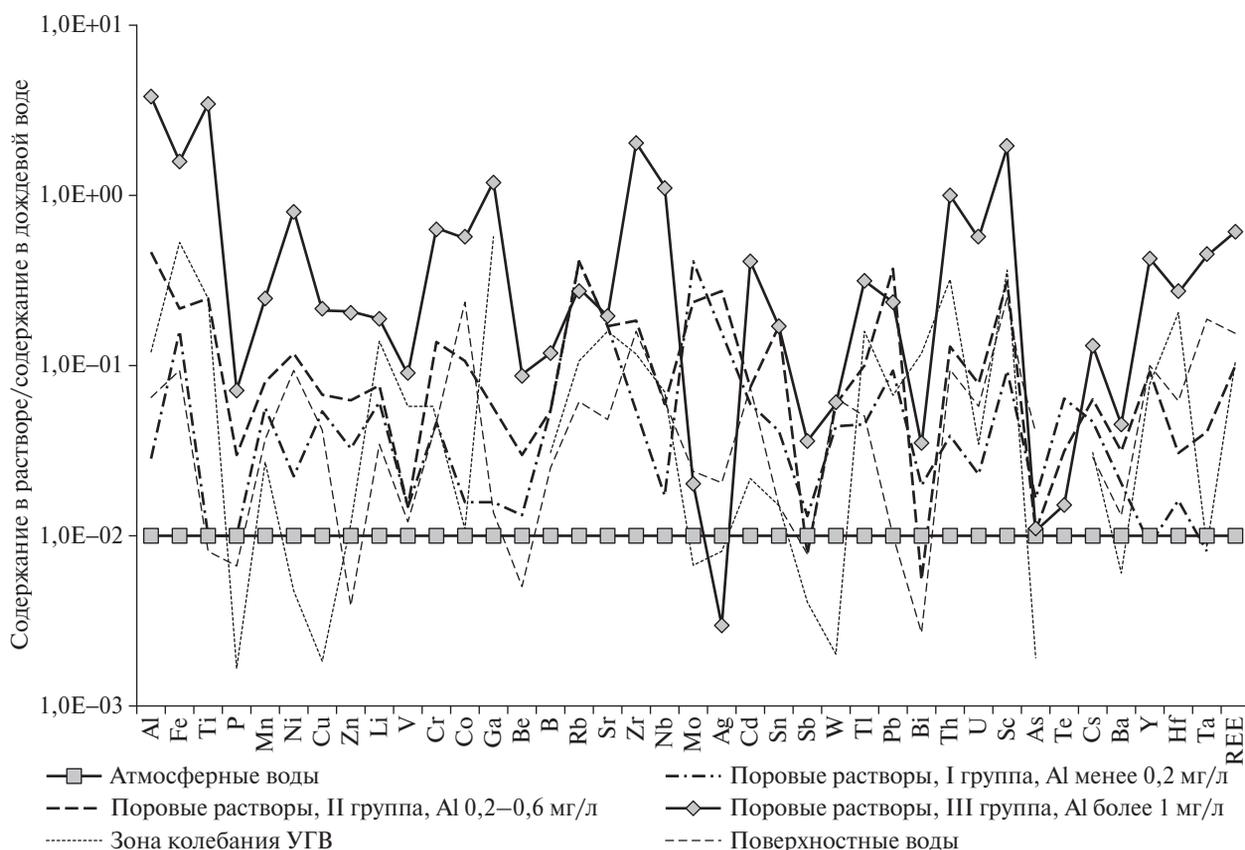


Рис. 3. Содержания микроэлементов в различных типах вод (содержания приведены в коэффициентах по отношению к дождевой воде).

различные гидрогеологические зоны: поровые растворы зоны инфильтрации от почвы до опускания их гидравлического фронта до встречи с зеркалом грунтовых вод, а также сами грунтовые воды за счёт быстро проникающей свободной воды по трещинам и каналам;

количество поровых растворов и скорость их перемещения по профилю несравненно меньше, чем у свободно проникающей дождевой воды, и, соответственно, поровые растворы не могут существенно влиять на общий состав грунтовых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mamedov V., Chausov A., Okonov E., Mel'kin A., Pashkov V., Pekarskii V. Map of the Bauxite Potential of the Republic of Guinea (Updated) // 6th International Bauxite-Alumina Symposium "Sustainable Development of Bauxite & Alumina Industry in Guinea". IBAAS-2017, 21–22 Sept. 2017. Conakry, Guinea. 2017. V. 6. P. 20–25.
2. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода—порода: В 5 т. Т. 2: Система вода—порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев [и др.]; отв. ред. тома Б.Н. Рыженко; ИНГГ СО РАН и [др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 389 с.
3. Мамедов В.И., Бронева В.А., Макстенек И.О., Иванов В.А., Покровский В.В. Режим грунтовых вод — основной контролирующий фактор минералого-геохимической зональности кор выветривания на Либерийском щите // Литология и полезные ископаемые. 1983. № 1. С. 3–11.
4. Мамедов В.И., Гоберман Р.Г. Геохимические особенности сублатеритных кор выветривания Западной Гвинеи, в связи с условиями их образования // Новые данные по геологии бокситов. М.: ВИМС, 1977. Вып. V. С. 55–65.
5. Алехин Ю.В., Макарова М.А., Мамедов В.И., Мошков В.В., Пухов В.В. Состав поровых растворов латеритных кор выветривания Гвинеи // Матер. Всерос. форума «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н. до наших дней». Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2017. С. 454–462.
6. Мамедов В.И., Gunn С.К., Воробьева Э.С. Поровые растворы и грунтовые воды субтропиков в Грузии в связи с вопросами корообразования // Кора выветривания. М.: АН СССР, 1986. № 19. С. 91–99.

UNIQUE ROLE OF PORE WATER IN LATERITIC BAUXITE FORMATION, REPUBLIC OF GUINEA

M. A. Makarova¹, V. I. Mamedov¹, Yu. V. Alekhin¹, E. S. Shipilova²

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

²*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS D.Yu. Pushcharovskii May 24, 2019

Received June 10, 2019

Results of the hydrogeochemical study of bauxite-bearing lateritic mantles of the Futa Djallon-Mandingo Province, West Africa, have allowed us to first characterize the pore water of vadose and infiltration hydrogeological zone. Abundances of major components (aluminum and iron) of the water are shown to be few orders higher than are those typical of the other waters of lateritic mantles. The pore water is proved to be a major factor of matter redistribution over any bauxite-bearing lateritic profile.

Keywords: pore water, lateritic bauxite, hydrogeological zoning, hydrogeochemistry, weathering mantle, Guinea.