

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНИКОВ И АЛЕВРОАРГИЛЛИТОВ КРУТИХИНСКОЙ ПОДСВИТЫ ЧЕРНОКАМЕНСКОЙ СВИТЫ И ПРОЦЕССЫ ПЕДОГЕНЕЗА

А. В. Маслов

Раньше мы уже отмечали [4], что, по представлениям Г.А. Заварзина [3], в досилурийское время процессы выветривания и выщелачивания контролировались альго-бактериальными сообществами или ими и сообществами грибов и водорослей. В какой-то мере современными аналогами циано-бактериальных матов, колонизировавших сушу в раннем протерозое, являются сообщества с доминированием низших растений, наблюдающиеся в пустынях, такырах и сорах. Г. Реталляком [12, 13], показано, что докембрийские палеопочвы сходны с современными по целому ряду параметров (цвет, текстура, минеральный и химический состав) и чаще всего представлены разнообразными по минералогическому и гранулометрическому составу породами розовой, светло-, палево- и желтовато-коричневой, красной или коричневой окраски.

В 2003–2005 гг. при изучении верхневендских отложений Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, сформированных в обстановках периодически осушаемых приливно-отливных и дельтовых равнин, в песчаниках верхней части крутихинской подсвиты чернокаменной свиты (разрез по р. Усьва несколько выше скалы Мултык), несущими ряд признаков педогенной проработки – главным образом изменение окраски и структурных особенностей (так называемый мултыкский педотип), была обнаружена новая ископаемая экологическая ассоциация, представленная преимущественно остатками арумбериоморфных организмов [1, 5]. Указанная ассоциация приурочена к песчаникам с многоступенчатой слоистостью, сами остатки принадлежат, по данным [2], *Arumberia banksi* Glaessner et Walter, 1975 и *Arumberia vindhyanensis* Kumar et Pandey, 2008. Для *A. banksi* выявлены несколько морфологических разновидностей, которые могут отражать онтогенетическую или фенотипическую изменчивость организмов. Остатки сохраняются на кровле волнистослоистых песчаников в виде отпечатков слоевищеподобного тела веерообразной формы (рис. 1). В ряде случаев в пластах песчаников под отпечатком слоевища сохраняются отпечатки пластинчатых выростов тела, которые отходят от тела вглубь породы, пересекая слоистость. Для некоторых экземпляров *A. banksi* Д.В. Гражданкиным установлена объемная сохранность тел в виде слепков в толще песчаников, которая, по всей вероятности, образовалась в результате про-

растания организмами осадка. Это позволяет предполагать, что остатки *A. banksi* захоронены в прижизненном положении. Нередко они сохраняются в виде отпечатков на рифленной поверхности лингвоидных знаков ряби, при этом пластинчатые выросты тела расходятся в толще осадка от вершины гребней ряби во впадины между ними, простираясь вдоль направления палеотечения, и выступая, очевидно, как дополнительный, наряду с микробактериальными матами, фактор биостабилизации осадка в гидродинамически весьма активных обстановках. По данным Д.В. Гражданкина [2], остатки *A. banksi* в разрезе крутихинской подсвиты захоронены в непосредственной близости от палеопочвенных горизонтов, однако в самих палеопочвах не встречаются.

Крутихинская подсвита представляет регрессивно построенную осадочную последовательность (в обнажении Красная Гора на р. Усьва представлена нижняя часть подсвиты мощностью 230 м, а в районе Заячьих островов – верхняя), мощность которой составляет примерно 150 м [5]. В районе Заячьих островов верхняя часть крутихинской подсвиты сложена ритмичным чередованием зеленовато-

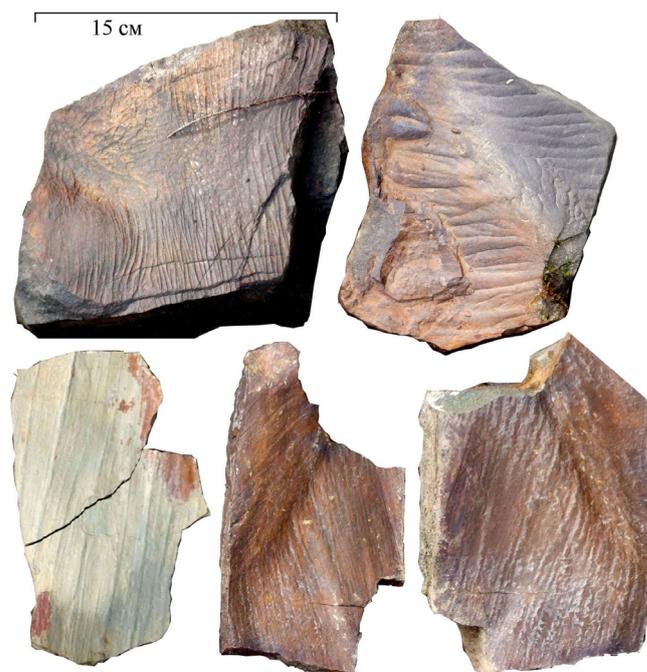


Рис. 1. Остатки арумбериоморфных организмов на верхней поверхности напластования песчаников.



Рис. 2. Строение пакетов и пачек переслаивания алевролитов и алевроаргиллитов, а также алевролитов и песчаников в верхней части крутихинской подсвиты (разрез по левому берегу р. Усьва несколько выше ск. Мултык).

и вишнево-серых алевролитов и алевроаргиллитов, темно- и зеленовато-серых тонкослоистых алевролитов и коричнево-серых массивных или с мелкой косоволнистой слоистостью песчаников (рис. 2).

Выполненное нами ранее [4] сопоставление валового химического состава пестро- и красноцветных тонкозернистых обломочных пород верхней части крутихинской подсвиты с зеленоцветными образованиями аналогичного гранулометрического состава синекаменной подсвиты чернокаменной свиты, не несущими признаков седиментации в сверхмелководных обстановках, РААС (постархейский австралийский глинистый сланец) и рядом других эталонных геохимических объектов позволило установить следующее. Значения $ГМ^1_{\text{медиана}}$ в глинистых сланцах и алевроаргиллитах обеих подсвит статистически сопоставимы и указывают, что мы имеем дело преимущественно с нормогидролизатами. Соотношения между НКМ, ФМ, К/Al и Mg/Al предполагают значительное сходство их химического и минерального состава. Медианная величина $СИА^2$ для тонкозернистых обломочных пород синекаменского уровня составляет 68, для пород крутихинского уровня – 69. Значимая положительная корреляция между $СИА$ и $ГМ$ ни для крутихинского, ни для синекаменского уровня не наблюдается, соотношения же между названными показателями зрелости тонкой алюмосиликокластики и такими индикаторами состава пород на палеоводосборах как, например, Th/Sc и Th/Cr, позволяют предполагать, что величина $СИА$ для тонкозернистых обломочных образований обеих уровней не может рассматриваться как чисто палеоклиматический сигнал. Сопоставление с РААС также выявило существенное сходство химического состава глинистых сланцев и алевроаргиллитов синекаменной и крутихинской подсвит. В целом проведенный анализ дал основания предполагать, что тонкозернистые обломочные породы верхней части крутихинской подсвиты если и были затронуты процессами педогенеза то в относительно небольшой степени.

В 2009 г. из этого же разреза крутихинской подсвиты было отобрано 15 образцов песчаников с остатками арумбериоморфных организмов и без них для того, что бы попытаться установить возможное влияние указанных организмов на состав исходных осадков. Содержания основных породообразующих оксидов в указанных образцах определены в ИГГ УрО РАН рентгеноспектральным флуоресцентным методом на СРМ-18 (аналитики – Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, В.П. Власов и Г.С. Неупокоева) и приведены в табл. 1. Здесь же дан ряд статистических параметров.

Как следует из анализа таблицы, медианное содержание SiO_2 в песчаниках без остатков арумбери составляет $\sim 72.5 \pm 3.9\%$, а в песчаниках с арум-

¹ $ГМ$ – гидролизатный модуль [7], рассчитываемый как $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2$.

² $СИА$ – индекс химического изменения [11], рассчитываемый по формуле $100 \times (Al_2O_3)/(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$, где оксиды выражены в молекулярных количествах.

Таблица 1. Содержания основных породообразующих оксидов в песчаниках верхней части крутихинской подсвиты чернокаменной свиты (разрез по левому берегу р. Усьва несколько выше ск. Мултык), мас. %

Компоненты/образцы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Песчаники с арумбериями (<i>n</i> = 7)									
m-09-05-21	72.45	0.612	13.66	4.62	1.28	0.40	1.6	2.58	0.15
m-09-05-22	72.89	0.606	13.54	4.20	1.26	0.39	1.7	2.66	0.15
m-09-05-23	63.59	0.785	16.76	7.31	1.94	0.39	1.0	3.83	0.09
m-09-05-24	69.60	0.676	14.48	5.60	1.50	0.40	1.6	2.84	0.14
m-09-05-25	69.50	0.729	14.40	5.52	1.47	0.42	1.8	2.81	0.15
m-09-05-26	73.00	0.575	13.49	4.67	1.17	0.36	1.7	2.67	0.16
m-09-05-27	62.03	0.853	17.03	7.57	2.03	0.39	1.1	4.11	0.11
Медиана	69.60	0.68	14.40	5.52	1.47	0.39	1.60	2.81	0.15
СО	4.50	0.10	1.51	1.33	0.34	0.02	0.32	0.63	0.03
Минимум	62.03	0.58	13.49	4.20	1.17	0.36	1.00	2.58	0.09
Максимум	73.00	0.85	17.03	7.57	2.03	0.42	1.80	4.11	0.16
Песчаники без арумберий (<i>n</i> = 8)									
m-09-05-28	70.50	0.62	14.63	4.89	1.39	0.37	1.70	2.81	0.13
m-09-05-29	73.35	0.625	12.85	4.63	1.32	0.36	1.60	2.58	0.12
m-09-05-30	67.40	0.732	14.90	6.03	1.79	0.42	1.70	3.21	0.15
m-09-05-31	72.00	0.636	13.41	5.09	1.40	0.34	1.70	2.70	0.12
m-09-05-32	72.97	0.564	13.28	4.59	1.17	0.34	1.80	2.46	0.12
m-09-05-33	78.18	0.435	10.22	4.16	0.94	0.29	2.00	1.70	0.12
m-09-05-34	70.67	0.573	14.38	4.83	1.48	0.35	1.70	3.01	0.11
m-09-05-35	78.89	0.413	10.31	3.90	0.95	0.27	1.70	1.64	0.11
Медиана	72.49	0.59	13.35	4.73	1.35	0.34	1.70	2.64	0.12
СО	3.89	0.11	1.83	0.64	0.28	0.05	0.12	0.57	0.01
Минимум	67.40	0.41	10.22	3.90	0.94	0.27	1.60	1.64	0.11
Максимум	78.89	0.73	14.90	6.03	1.79	0.42	2.00	3.21	0.15

Примечание. СО – стандартное отклонение. *n* – число проанализированных образцов.

Таблица 2. Содержания ряда петрогенных оксидов (мас. %) в различных горизонтах палеопочв формации Пеннингтон [10]

Горизонты палеопочв/компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
A-2, 110 см от поверхности почвенного слоя	58.49	21.82	7.35	2.87	2.22	0.42	5.18
A-2, 10 см от поверхности почвенного слоя	67.23	16.12	6.63	2.42	2.13	0.71	3.70
A-14, 130 см от поверхности почвенного слоя	65.54	18.78	7.85	2.17	0.35	0.32	4.06
A-14, поверхность почвенного слоя	66.61	16.91	8.68	2.11	0.48	0.38	3.76

бериями – $69.6 \pm 4.5\%$, то есть статистически сопоставимо. Это же можно сказать о Al₂O₃медиана (соответственно, $13.3 \pm 1.8\%$ и $14.4 \pm 1.5\%$), Fe₂O₃общ, MgO, CaO, Na₂O и K₂O.

Сходство состава песчаников обеих групп хорошо видно и при сравнении медианных, минимальных и максимальных содержаний перечисленных оксидов (рис. 3).

На диаграмме М. Хиррона [9] точки составов песчаников без остатков арумбериеморфных организмов и с ними также не обнаруживают каких-либо существенных отличий, будучи расположенными в поле кварцевых аренитов (рис. 4).

Было проведено также нормирование содержаний основных породообразующих оксидов в песчаниках обеих групп на содержания указанных оксидов в протерозойском кратонном песчанике (по [8]) и среднем постархейском австралийском глинистом сланце (РАAS, по [6]). И хотя понятно, что эта операция не добавила чего-либо нового к приведен-

ным выше сведениям, так как спектры распределения оксидов в песчаниках с остатками арумбериеморфных организмов как “две капли воды” похожи на спектры в песчаниках без таких остатков, интересно здесь другое. Исследованные нами песчаники, характеризующиеся в 3 и более раза более высокими медианными содержаниями оксидов титана, алюминия, железа, натрия, калия и фосфора чем протерозойские кратонные песчаники (рис. 5а, в), совершенно очевидно, не являются образованиями спокойного тектонического режима, подвергшимся многократному рециклингу и переотложению в условиях интенсивного химического выветривания. Относительно РАAS песчаники верхней части крутихинской подсвиты в разрезе у ск. Мултык несколько обогащены оксидами кремния и натрия (соответственно, 1.11–1.15 и 0.71–0.76) (рис. 5б, г). Содержание остальных породообразующих оксидов варьирует от 0.26–0.30 × РАAS (CaO) до 0.74–0.91 (P₂O₅).

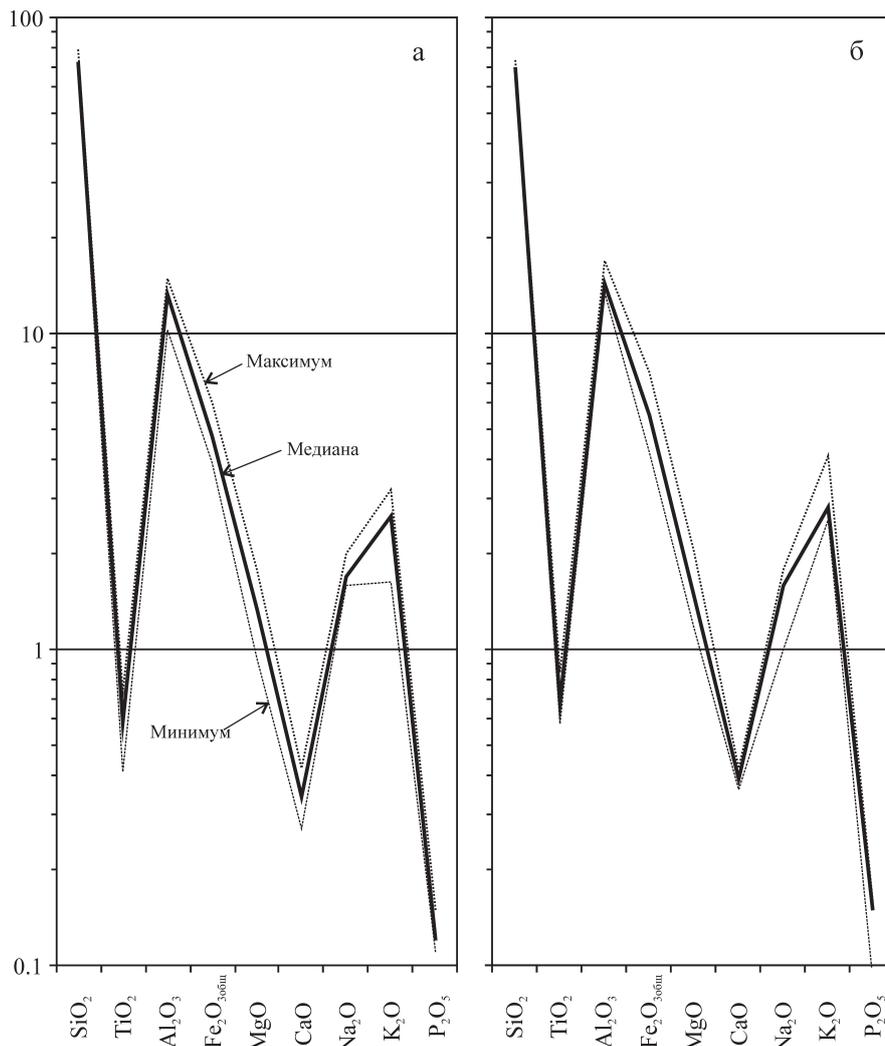


Рис. 3. Медианные, минимальные и максимальные содержания основных петрогенных оксидов в разных группах песчаников верхней части крутихинской подсветы в разрезе у ск. Мылтык на р. Усьва. а – песчаники без арамбурий, б – песчаники с арамбуриями.

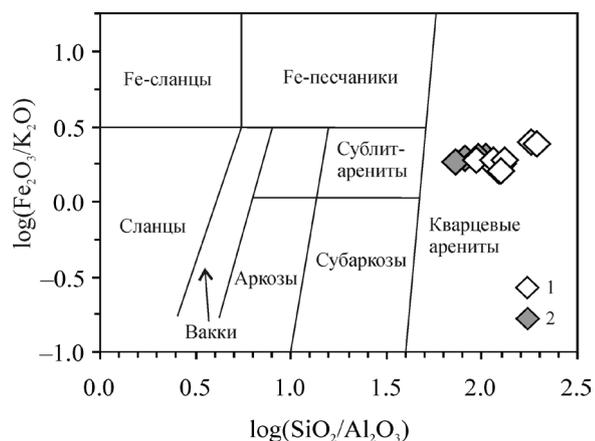


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов песчаников разных групп на классификационной диаграмме М. Хиррона. 1 – песчаники без арамбурий, 2 – песчаники с арамбуриями.

Все сказанное выше показывает, что песчаники обеих групп не имеют каких-либо различий, которые можно было бы рассматривать как обусловленные их переработкой/колонизацией живыми организмами.

Нами было выполнено также сравнение валовых составов алевроаргиллитов из верхней части крутихинской подсветы с составом относительно неизменных и достаточно сильно измененных горизонтов двух палеопочв (локальные педотипы: 1) Pine Mtn, Vertisol с алевро-пелитовой структурой, А-2; и 2) Pound, Vertisol с пелитовой или алевро-пелитовой структурой, А-14), описанных в разрезах позднемиссисиппской формации Пеннингтон (Pennington) [10] (табл. 2). Как оказалось, и в том и в другом случаях отличия достаточно велики. При нормировании на состав различных горизонтов полеопочвенного слоя А-2 вырисовывается резкий дефицит в алевроаргиллитах оксида кальция и обогащение оксидом натрия (рис. 6). В случае же палео-

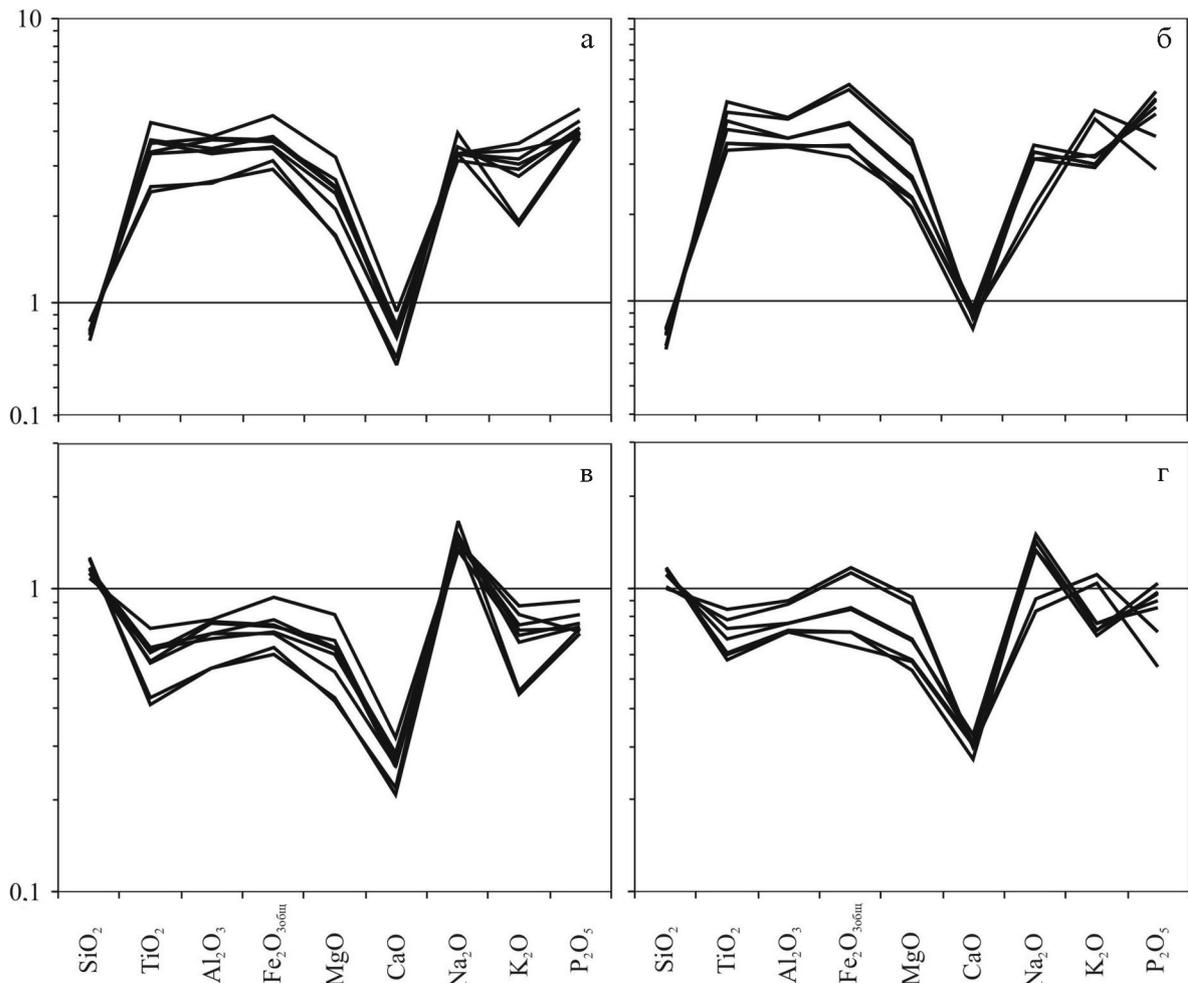


Рис. 5. Содержания основных породообразующих оксидов в песчаниках без остатков арумберий и с ними, нормированные на содержания этих же оксидов в среднем протерозойском кратонном песчанике (а и в) и PAAS (б и г).

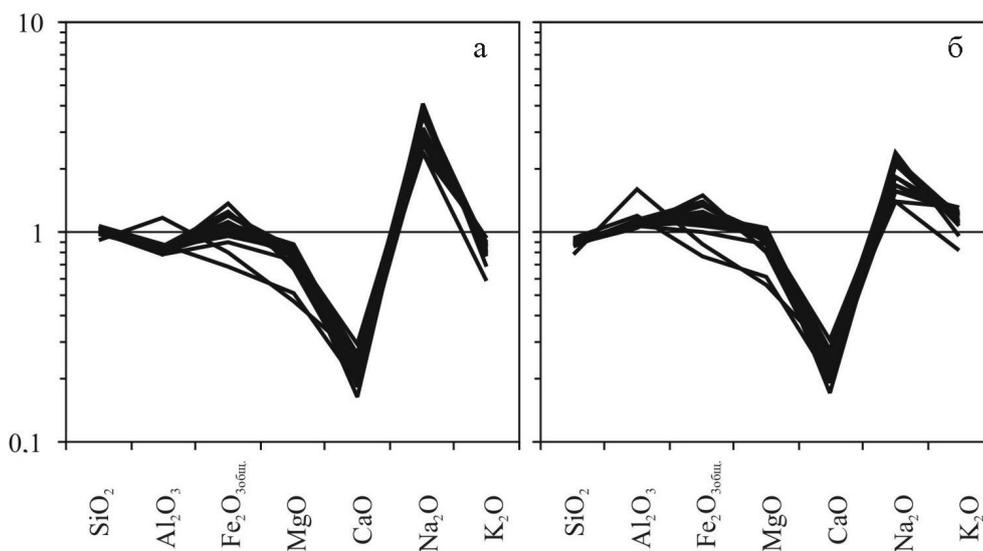


Рис. 6. Содержания основных породообразующих оксидов в алевроаргиллитах верхней части крутихинской подсвиты, нормированные на содержания этих же оксидов в слабо (а) и сильно (б) преобразованных педогенными процессами горизонтах палеопочвенного слоя А-2 (Vertisol) формации Пеннингтон.

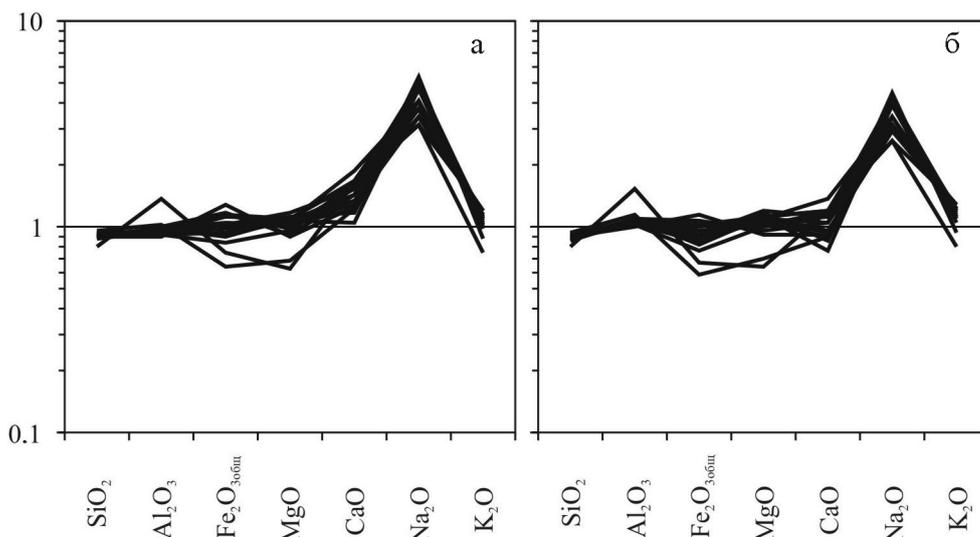


Рис. 7. Содержания основных породообразующих оксидов в алевроаргиллитах верхней части крутихинской подсвиты, нормированные на содержания этих же оксидов в слабо (а) и относительно сильно (б) преобразованных педогенными процессами горизонтах палеопочвенного слоя А-14 (Vertisol) формации Пеннингтон.

почвенного слоя А-14, для которого характерны некоторый вынос из приповерхностного слоя оксида алюминия и, напротив, накопление оксидов железа, кальция и натрия, в алевроаргиллитах крутихинской подсвиты наблюдается резкое обогащение оксидом натрия при варьирующих, но в целом близких к А-14 содержаниях остальных петрогенных компонентов, в том числе и оксида кальция (рис. 7).

Таким образом, мултыкский педотип, представленный исключительно выветрелым материнским материалом с блоковой отдельностью (протогоризонт С, включающий два подгоризонта, различающиеся степенью сохранности исходной структуры пород, [2]), характеризует самые первые стадии почвообразования (недифференцированный примитивный почвенный профиль, так называемые “почвы на песках”), на которых заметное изменение химического состава субстрата еще не имело места. Полученные нами материалы не свидетельствуют также в пользу предположения о том, что колонизация субстрата арумбериеморфными организмами вела к изменению его химического состава.

Исследования выполнены в рамках проекта “Эволюция процессов выветривания и педогенез в неопротерозое” Программы РАН № 15 “Происхождение биосферы и эволюция гео-биологических систем”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. Строение и этапы формирования верхнепротерозойских (вендских) отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала // Стратигр. Геол. корр. 2009. Т. 17, № 5. С. 20–40.
2. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. Осадочные системы сыльвицкой серии

(верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.

3. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. 348 с.
4. Маслов А.В. Литохимические особенности песчаников и алевроаргиллитов крутихинской подсвиты чернокаменной свиты и процессы педогенеза // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. 2010. С. 155–160.
5. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Крупенин М.Т. Чернокаменная свита бассейна р. Усьва на Среднем Урале (особенности строения, седиментология, условия формирования) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 65–87.
6. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
7. Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
8. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.
9. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
10. Kahmann J.A., Driese S.G. Paleopedology and geochemistry of Late Mississippian (Chesterian) Pennington Formation paleosols at Pound Gap, Kentucky, USA: Implications for high-frequency climate variations // Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology. 2008. V. 259. P. 357–381.
11. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
12. Retallack G.J. How to find a Precambrian paleosol // Early organic evolution: implication for mineral and energy resources / Eds. M. Shidlowski et al. N.Y.: Springer, 1990. P. 84–97.
13. Retallack G.J. A colour guide to paleosols. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 175 p.