

## КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ СИЕНИТОВ О. СИЛУЭТ (СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА) КАК ИНДИКАТОР СОВРЕМЕННОГО БОКСИТООБРАЗОВАНИЯ

В. И. Сиротин, А. В. Никитин, Г. В. Войцеховский

*Воронежский государственный университет*

Кора выветривания сиенитов развита на субстрате, практически не содержащем кварц. Сиенит разлагается до каолинита с выделением значительного количества свободного глинозема в виде гиббсита. Каолинит не является обязательной фазой на пути к образованию гиббсита

Сейшельские острова, расположенные в западной части Индийского океана в экваториальной зоне Земли, несут отчетливые следы современного выветривания, в связи с чем их вполне можно использовать как природную мастерскую, лабораторию для ответа на вопрос, который все же задается порой скептиками — образуются ли вообще в современную эпоху бокситы-латериты? В 1984 году во Владивостоке была организована комплексная советская экспедиция на кораблях “Академик Александр Виноградов” и “Каллипсо”. Целью экспедиции была оценка природных ресурсов республики “Сейшельские острова”. Одной из задач экспедиции было изучение почв и кор выветривания [1, 2]. Второе судно “Каллипсо” имело на борту научный коллектив под руководством Б. В. Преображенского, в задачу которого входило изучение шельфовых ландшафтов, рифовых сооружений в т.ч. атоллов. По нашей просьбе сотрудниками этого коллектива были отобраны пробы современной коры выветривания острова “Силуэт”<sup>1</sup>.

Остров Силуэт находится на 4<sup>00</sup> ю.ш. и 55<sup>030</sup> в.д. Его климат типичен для влажных тропиков, среднегодовая температура +27 +28<sup>0</sup>С, среднегодовое количество осадков 2 451 мм. Рельеф низкогорный, расчлененный, абсолютная отметка в водораздельной части составляет 630—670 м над уровнем океана.

Происхождение Сейшельских островов до сих пор не ясно, скорее всего это обломок некогда единого суперконтинента Гондвана. Сейшельские острова представляют собой верхушку крупного

гранитного массива, поднимающегося над ложем океана на высоту около 4 км. Гранитный массив рассечен системой трещин, заполненных базальтами. Абсолютный возраст гранитов от 500 до 650 млн лет, а возраст базальтов всего около 50 млн лет [1]. Геологическое строение очень напоминает, по мнению В.В.Добровольского [1], ситуацию в Восточно-Африканском поднятии (особенно на территории Малави). Сходство еще более усиливается крупным внедрением сиенитов, глубинных кристаллических пород со специфическим составом. Остров “Силуэт”, о котором пойдет речь ниже, целиком представляет это внедрение сиенитов. Большая часть Сейшельского гранитного массива находится, таким образом, под водой и покрыта ныне здравствующими колониями кораллов, а их производные — коралловые известняки имеют мощность не менее 300 м, что свидетельствует о медленном опускании островов, либо о медленном эвстатическом повышении уровня Мирового океана, либо о том и другом явлениях одновременно. В. В. Добровольский [1], изучавший коры выветривания гранитов на островах Маэ, Арид и ряде других, а также строение рыхлой толщи гранитных островов, приходит к выводу о древнем (донеогеновом) возрасте мощной и зрелой (каолининовой) коры выветривания в условиях ландшафтов постоянно влажных тропических лесов, создающих светлые тона продуктов выветривания. В неогене, по мнению этого автора, во-первых установился режим чередования сухих и дождливых сезонов, что обеспечило продуктам выветривания желто-бурю окраску; во-вторых резко активизировались процессы денудации приведшей к размыву как донеогеновой коры выветривания, так и неогеновых продуктов выветривания, вошедших затем в состав рыхлых красноцветных отложений; последние на всех островах являются почвообразу-

© Сиротин В. И., Никитин А. В., Войцеховский Г. В., 2006.

<sup>1</sup> Республика “Сейшельские острова” включает в себя несколько групп островов (собственно Сейшельские, Амрантские, Альдабра, Космоledo, Прасмин, Провидено, Фарткуар и др.) общей площадью 376 км<sup>2</sup>. В дальнейшем в статье речь идет о собственно Сейшельских островах.

ющей материнской породой постоянно содержащей обломки, а иногда и глыбы в различной степени выветрелых гранитов. Таким образом, из приведенных материалов В. В. Добровольского следует вывод: современная эпоха не благоприятна для латеритного бокситообразования, по крайней мере, по тектоническому и геоморфологическому факторам.

### СТРОЕНИЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Коры выветривания тропических островов изучались и другими исследователями. Элювий кислых пород Сейшельских островов впервые изучен Бауэром [3], который опубликовал петрографическое описание и химические анализы продуктов выветривания гранитов и доказал, что разложение кислых пород в условиях тропиков ведет к формированию типичного латерита. В 1968 году Н. А. Лисицина [3] описала профиль выветривания щелочных роговообманковых гранитов острова Маэ (Сейшельские о-ва). Б. М. Михайлов описал геологию и полезные ископаемые Либерийского щита [4].

Коренные породы острова Силуэт представлены щелочными сиенитами, которые имеют следующий минералого-петрографический состав: анортит — 10,2 %, альбит — 32,2 %, микроклин — 30 %, эгирин — 12 %, кварц — 4 %. Из второстепенных минералов присутствуют: роговая обманка — 1,5 %, диопсид 1,4 %, ильменит — 1 %. (табл.1, рис.1, обр.1). Кроме того, встречаются единичные зерна апатита и магнетита. Структура породы полнокристаллическая (среднекристаллическая). Переход от неизмененных пород к коре выветривания постепенный.

В профиле выветривания по минеральному составу выделяется одна гиббсит-каолининовая зона с примесью окислов железа и титана мощностью около 6 м.

Формирование профиля выветривания на Сейшельских островах сопровождается интенсивным выщелачиванием породообразующих минералов, о чем свидетельствуют наблюдения под микроскопом, а также рост пористости с 13 % в свежем сиените (обр. 1) до 58 % в максимально выветрелой гиббсит-каолининовой породе (обр. 6). Под микроскопом видно, что основная масса породы представлена полевым шпатом, который образует широкие простые двойники, на фоне которых выделяются отдельные идиоморфные кристаллы пироксена — эгирина (изредка встречается авгит, диопсид, роговая обманка). Магнетит и апатит встречаются в виде

округлых включений в кристаллах пироксенов. Роговая обманка и пироксен часто срastaются вместе, причем пироксен образует ядро. Иногда происходит явное замещение пироксена (эгирин, авгит) — роговой обманкой. Кварц присутствует в незначительном количестве в виде ксеноморфных зерен заполняющих промежутки между идиоморфными кристаллами плагиоклаза, и имеет вид минерала выделившегося при кристаллизации последним.

В верхней (IV) зоне преобладает каолинит (>60 %), гидроксиды железа — гетит (11 %), свободный глинозем в виде гиббсита (10 %). В незначительном количестве присутствуют ортоклаз (до 3 %) и ильменит 2—3 %). Единичные зерна кварца сильно корродированны вплоть до полного растворения.

Так как выветривание происходит во влажном экваториальном климате и процесс латеритизации охватывает все силикатные минералы, это приводит к потере кремнекислоты путем выноса  $\text{SiO}_2$  из алюмосиликатов и к высвобождению оксидов железа и алюминия, который кристаллизуется в виде гиббсита. Вынос  $\text{SiO}_2$  в этом разрезе составляет 80 %. Образуются яркие красно-желтые латериты *in situ* (ферриаллиты). Плагиоклаз непосредственно переходит в каолинит и гиббсит. Пироксены и амфиболы при выветривании переходят в гетит, местами метасоматически замещаются каолинитом и гиббситом, что свидетельствует о некоторой подвижности алюминия в латеритном процессе [8]. При латеритном выветривании алюмосиликаты разлагаются с выносом Na, K, Si, Mg, Ca, Fe проточной теплой дождевой водой. При этом окислы Al и Ti как наиболее устойчивые накапливаются на месте в качестве остаточного продукта. Особенно энергично выносятся легкоподвижные щелочные и щелочноземельные элементы, а также  $\text{SiO}_2$ .

Латериты залегают на вершинах и склонах холмов сложенных алюмосиликатными породами. Условия расчлененного рельефа благоприятны для промывания пород почвенно-грунтовыми водами. Значение pH грунтовых вод в областях бокситообразования с обильными атмосферными осадками колеблется как правило от 5 до 7.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Таким образом, в климатических условиях Сейшельских островов в районах расчлененного рельефа, обеспечивающего нормальный водообмен, сиенит разлагается до каолинита с выделением значительного количества свободного глинозема, который кристаллизуется в виде гиббсита.

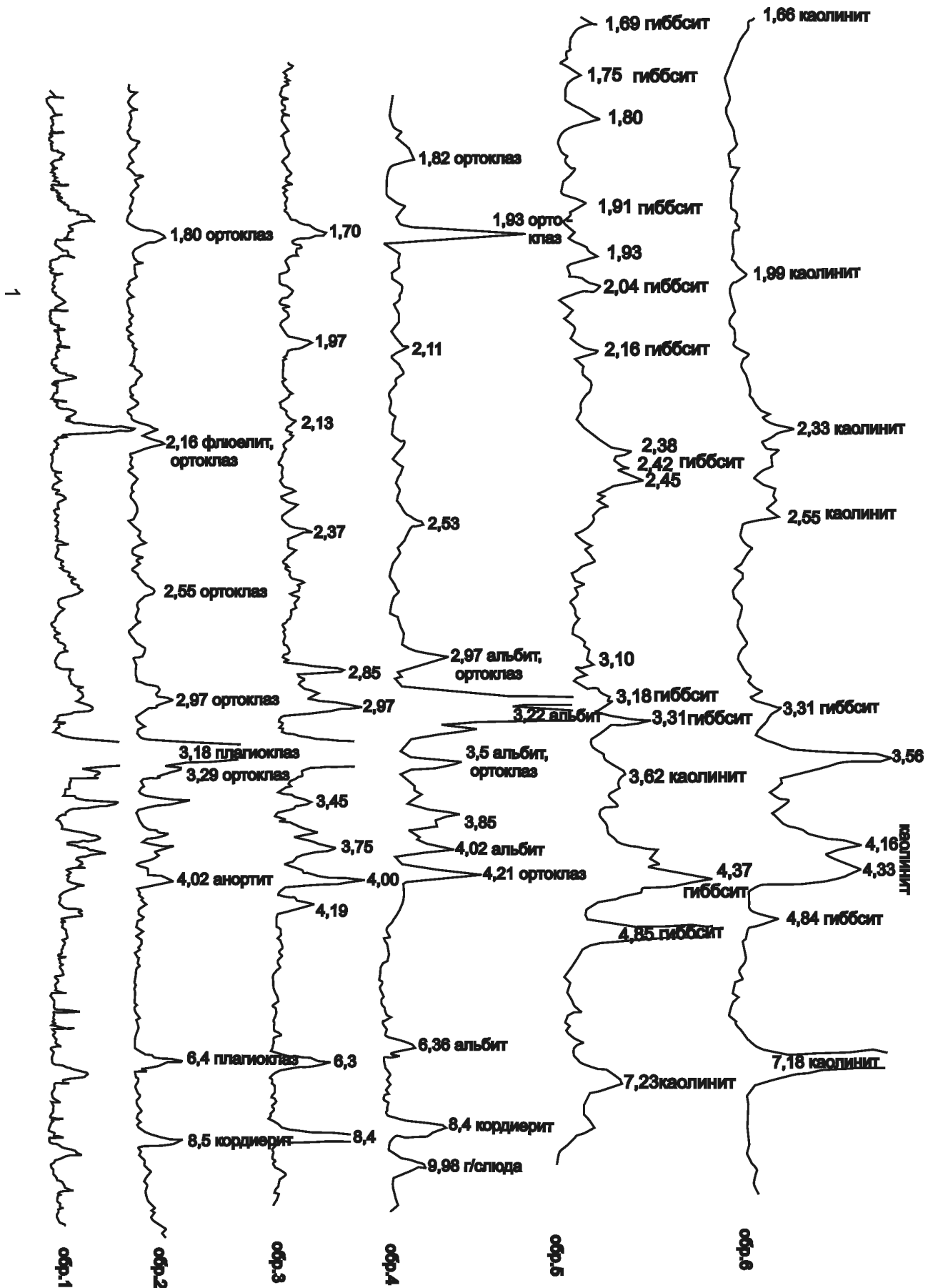


Рис. 1. Дифрактограммы профиля коры выветривания о. Силуэт (Сейшельские острова)

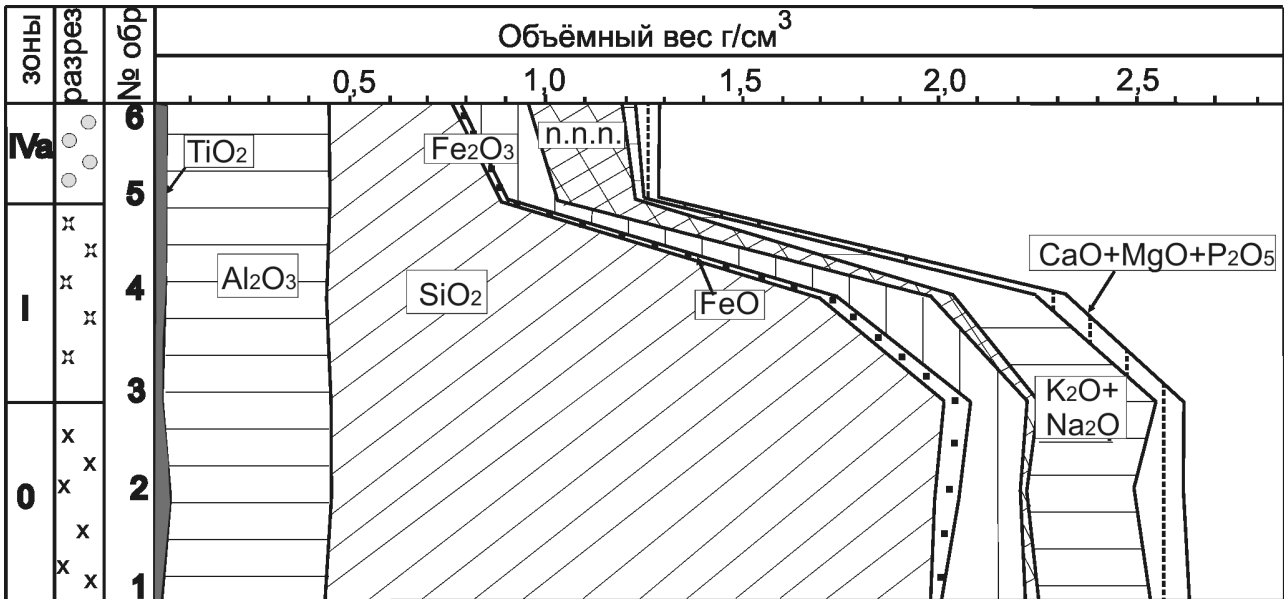


Рис. 2. Геохимическая диаграмма глиноземной коры выветривания сиенитов о. Силуэт (Сейшельские острова)

2. В современную геологическую эпоху в экваториальной зоне Земли в условиях постоянно влажного климата осуществляется латеритный процесс алюмосиликатных пород, приводящий к образованию гиббситосодержащих бокситовых пород. Одновременно в атоллах в результате латеритного процесса происходит преобразование вулканогенного пеплового материала в бемитосодержащие бокситовые породы.

3. Каолинит не является обязательной фазой на пути к образованию гиббсита (наблюдается непо-

средственное образование гиббсита по плагиоклазу и ортоклазу). Вместе с тем есть все основания считать, что в процессе выветривания возникает неупорядоченный (метаколлоидный) каолинит, который является обязательной (но ускользящей из-за кратковременности существования) фазой на пути к образованию гиббсита (и бемита), что было доказано и для древнего латеритного профиля КМА [6,7,8,9,10]. Неупорядоченность каолинита проявляется на дифрактограммах (рис. 1) в виде: 1) неразрешения дуплета 4,18 и 4,13 Å, 2) отсутствия

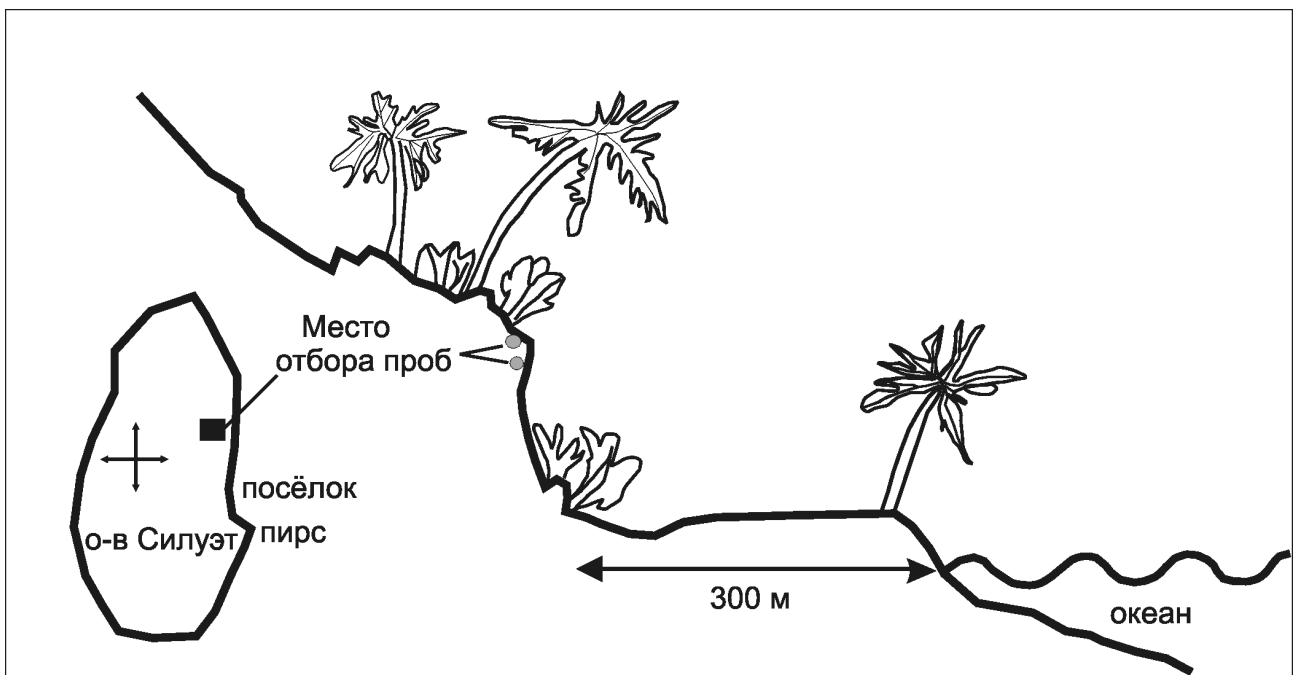


Рис. 3. Место отбора проб

Таблица 1

Результаты химического анализа образцов пород (Сейшельские острова, о. Силуэт (Silhouette Island))

№ п.п	№ обр	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	n.n.n.	S	Σ
1	I	58,8	0,56	15,76	8,24	0,9	0,29	2,83	0,92	5,60	5,30	0,30	0,03	0,72	0,38	100,60
2	II	59,2	0,80	15,56	6,06	2,52	0,23	3,09	1,29	5,50	5,30	0,41	0,03	0,35	0,12	100,43
3	III	59,78	0,56	16,17	5,49	2,34	0,23	2,06	1,29	6,01	5,50	0,20	0,18	0,73	0,15	100,51
4	IV	54,20	1,05	17,78	10,34	1,44	0,29	2,32	0,55	4,10	5,30	0,34	0,05	1,95	0,06	99,72
5	V	34,78	1,75	32,92	9,97	1,08	0,14	1,80	0,74	0,20	0,50	0,26	0,67	16,26	0,04	99,10
6	VI	24,42	1,57	32,79	13,84	0,72	—	3,61	0,92	0,40	1,30	0,46	0,78	18,75	0,14	100,26

рефлексов между рефлексами 3,57 и 2,50 Å. Разложение силикатов приводило к образованию гелеморфных и, возможно, аморфных продуктов выветривания, кристаллизация которых приводит затем к образованию минералов свободного глинозема. Г. Терсинье считает [12], что образованный из этих продуктов каолинит является скорее тупиковым процессом для образования бокситов.

Однако наши исследования латеритного профиля КМА показали, что неупорядоченный каолинит [6,7,8,9,10] является или может являться необходимой протяженной стадией на пути разложения алюмосиликатов, приводящей к образованию минералов свободного глинозема.

4. Изученный профиль коры выветривания сиенитов острова Силуэт развит на благоприятном субстрате, практически не содержащем кварца. На гранитных породах образование латеритных бокситовых пород считалось менее вероятным, затем оно было многократно подтверждено и приводило к образованию огромных запасов бокситов [5, 11]. Что касается заключения В. В. Добровольского [1] о мощной каолининовой коре выветривания острова Силуэт, имеющей палеогеновый (эоценовый) возраст и явившейся источником переотложенных в более позднее время толщ кварц-каолининовых пород, то с ним можно согласиться, но с оговоркой — наряду с каолинизацией, безусловно, возникали и минералы свободного глинозема (в основном) гиббсит (пусть и в непромышленном масштабе), а процесс корообразования шел постоянно, вплоть до современной эпохи, и с разной интенсивностью, прерываемый иногда преобладанием эрозии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский В.В. Механизмы гипергенеза // Природа. 1977, № 2. С. 16—23.

2. Добровольский В.В. Геохимия тропических островов // Природа. 1985, № 11. С. 40—51.

3. Лисицына Н.А. Вынос химических элементов при выветривании основных пород. М.: Наука, 1973. 288 с.

4. Михайлов Б.М. Рудоносные коры выветривания. Л.: Недра, 1986. 240 с.

5. Новиков В.М., Нгуен Чонг Чем, Нгуен Дик Зи, Нгуен Суан Дао, Зубарев В.И. Латеритные бокситы в коре выветривания гранитов Южного Вьетнама // Геол. рудн. мест., 1985. Т. XXVII, № 4. С. 116—120.

6. Сиротин В.И. История минералов свободного глинозема и эволюция литолого-минералогических типов бокситов КМА // Литология и полезные ископаемые, 1973, № 6. С. 68—83.

7. Сиротин В.И. О химическом составе и роли гелей в бокситах-латеритах КМА // Стратиграфия и литология осадочного чехла Воронежской антеклизы. Воронеж, 1976. Вып. 3. С. 17—26.

8. Сиротин В.И. Стадиальный анализ древней глиноземной коры выветривания КМА // Проблемы теории образования коры выветривания и экзогенные месторождения. М.: Наука, 1980. С. 239—253.

9. Сиротин В.И. Метасоматическая модель формирования визейского бокситоносного латеритного профиля КМА // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. 2000. № 9. С. 7—15.

10. Сиротин В.И. Доверхневизейский бокситоносный перерыв Воронежской антеклизы. Сообщение 2. Структура и мощность, зрелость и возраст гипергенного покрова, фациальные типы кор выветривания // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1997, № 4. С. 3—21.

11. Служин А.Д. Месторождения латеритных бокситов Сибирской и Индийской платформ // Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания. М.: Наука, 1990. С. 63—76.

12. Tercinier G. Les sols bauxitiques de karst des atolls surelevés du Pacifique. Contribution à l'étude des phénomènes de bauxitisation et d'allisation // Sci. sol. 1972. № 1. P. 103—122.