

УДК 631.48 : 631.416

В. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

НОВООБРАЗОВАНИЯ ГИДРООКСИ АЛЮМИНИЯ В ВЫСОКОГОРНЫХ ПОЧВАХ АФРИКИ

Охарактеризованы особенности формирования новообразований гидроокиси алюминия в почвах горных массивов Африки.

Показано, что образование гибсита в изученных почвах происходит в результате биологического круговорота и что протекает оно не только в специфических биоклиматических условиях, но и при наличии пород определенного состава.

При изучении горнолуговых почв наиболее высоких горных массивов Африки — Килиманджаро, Кении, Рувензори — автор обнаружил оригинальные новообразования, состоящие в значительной мере из свободной гидроокиси алюминия. Указанные новообразования особенно хорошо выражены в почвах нижней части горнолугового пояса Килиманджаро. Растительность здесь представлена пышными лугами альпийского типа с преобладанием *Exathesa abyssinica* и *Agrostis volkensis*. По данным Селта [3], максимум атмосферных осадков на склонах этого горного массива приходится на центральную часть пояса горных лесов, в поясе альпийских лугов выпадает более 1000 мм в год. В то же время величина суммарного испарения и транспирации в этом поясе уменьшается, способствуя некоторому переувлажнению ландшафтов и сильной оторфованности почвы. Поэтому один из первых исследователей Килиманджаро Фолькенс [5] назвал горнолуговой пояс поясом горных торфяников, а почвы этого пояса в специальной литературе известны под названием торфяных [4]. Почвообразующими породами служат перетолженные продукты выветривания вулканических лав щелочного и основного состава (оливиновых базальтов, трахибазальтов и т. п.).

Приводим описание разреза шурфа, заложенного в районе Мавензи на высоте около 2950 м над ур. м. на небольшом платообразном участке. Высокая и густая злаковая растительность, под покровом которой на поверхности почвы развит тонкий мох.

- At 0— 5 см. Торфянистый горизонт коричневато-бурого цвета, влажный, пронизанный корнями трав. Нижняя граница неровная, но отчетливая.
- A₁ 5— 18 см. Гумусовый горизонт черно-бурого цвета с обильными корнями и растительными остатками, рыхлый, с непрочной комковатой структурой. Нижняя граница очень неясная.
- A₁/B 18— 32 см. Переходный горизонт, в пределах которого ослабеваеет окраска, обусловленная гумусом, от серо-бурой до буровато-коричневой. Суглинистый, комковатый.
- B 32—100 см. Илловиальный горизонт коричневого цвета с плохо выраженной зернистой и мелкоореховатой структурой. Плотность заметно увеличивается вниз по профилю. На глубине 82 см отмечен уплотненный горизонт, состоящий из ржаво-бурых конкреций, которые образуют сплошной прослой мощностью от 0,5 до 3 см. Глубже

количество конкреций быстро уменьшается и на глубине 102 см их почти нет.

С 100—120 см. Суглинок оранжево-коричневого цвета, плотный, бесструктурный.

На более крутых участках склона в приколках обнаружено усложнение профиля: между торфяным и гумусовым горизонтом формируется рыхлый светло-ржавый горизонт мощностью до 20 см. Масса этого горизонта очень легкая благодаря высокой пористости, пылеватая.

Как следует из аналитических данных (табл. 1), почва обладает слабобоксидной, почти нейтральной реакцией.

Таблица 1
Аналитические показатели горно-луговой почвы Килиманджаро

Показатель	Генетические горизонты и глубина, см				
	A ₁ 0—5	A ₁ /Г 5—18	A ₁ /В 18—32	В 32—100	С 100—120
Гумус, %	Чистый торф	33,80*	10,60	4,90	0,71
pH водный	6,9	6,7	6,6	6,5	6,3
pH солевой	5,7	4,7	5,5	5,9	5,3
Емкость поглощения, мг·экв/100 г	41,00	22,00	20,00	21,00	15,00
Поглощенные катионы, мг·экв/100 г					
Ca	32,00	10,50	8,00	8,00	1,30
Mg	8,00	3,50	6,50	6,00	1,60
Na	0,43	0,21	0,86	0,20	0,40
K	0,25	0,20	0,40	0,40	0,80

* Потери при прокаливании.

Содержание тонкодисперсных частиц A₁/В — 17,5%, в гор. В — 20,0%, в гор. С — 47,50%. Небольшая емкость поглощения при столь сильной глинистости почвы обусловлена особенностями состава почвообразующей породы: преобладанием слабо сорбирующих минералов типа метакаллуазита, покрытых пленками окиси железа.

Конкреции, содержащиеся в гор. В имеют неправильную форму. В изломе видно, что снаружи располагается темно-бурая плотная корка толщиной 3—4 мм со сглаженной, натечной поверхностью. Под коркой находится ярко-охристый порошокатый тонкий слой, отделяющий внутреннюю часть конкреции, сложенную матовой серовато-бурой массой с полостями неправильной формы (рис. 1).

Под микроскопом в шлифе, изготовленном из конкреции, видно, что темно-бурая корка сложена метаколлоидным гидрогетитом. Центральная часть конкреции имеет сложное строение, ячеистое. Ячейки и пустоты заполнены очень мелко- и скрытокристаллическим гиббситом. Местами встречаются скопления желтовато-бурых аллофаноидов. Гиббсит часто образует фестончатые нарастания на внутренней поверхности пустот и полостей.

Размер кристаллических индивидов гиббсита, как правило, не превышает 0,01 мм и редко достигает 0,02 мм. Преобладают изометричные или слабовытянутые зерна. Встречаются микросфероагрегаты с положительным знаком размером около 0,02 мм в поперечнике. У вытянутых зерен заметно-косое погасание. Угол погасания с осью Ng, определенный как максимальный из многих измерений, равен 23° (±2°).

Кристаллооптический анализ, выполненный автором иммерсионным методом, дал следующие результаты: Ng' = 1,579 ± 0,003; Np' = 1,559 ± 0,003; Ng' — Np' = 0,020.

При определении величины светопреломления у морфологически разных образований гиббсита установлено, что у хорошо окристаллизован-

ных индивидов светопреломление несколько больше, чем у кристаллических скоплений и сфероагрегатов, и составляет: $N_{g'} = 1,581$; $N_{p'} = 1,565$; $N_{g'} - N_{p'} = 0,016$.

Результаты кристаллооптических исследований хорошо согласуются с данными рентгеноструктурного анализа, выполненного В. П. Градусовым в Почвенном институте им. В. В. Докучаева. На дифрактограммах проб серо-бурой массы, слагающей центральную часть конкреций, выделяются четкие пики 4,83 и 4,36 Å (рис. 2):

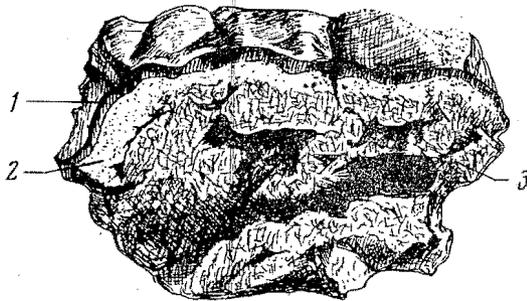


Рис. 1

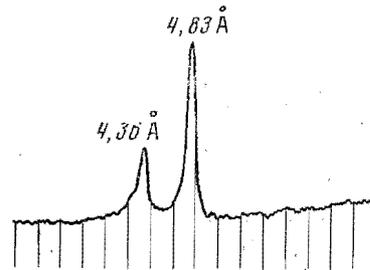


Рис. 2

Рис. 1. Вид окисно-алюминиевой конкреции. Натуральная величина

1 — наружная темно-бурая корка; 2 — подкорковые охристо-порошковатые скопления; 3 — внутренняя кавернозно-ячеистая часть конкреции

Рис. 2. Дифрактограмма вещества внутренней части конкреции

Учитывая крайне мелкие размеры кристаллических индивидов новообразованного гиббсита, большой интерес представляет изучение вещества конкреций с ненарушенной структурой при увеличениях больших, чем это допускает разрешающая способность поляризационного микроскопа. С этой целью конкреции были изучены с увеличением до 10 000 при помощи растрового электронного микроскопа модели HSM-2 фирмы

Рис. 3. Кристаллы новообразованного гиббсита. Микрофотография на сканирующем электронном микроскопе, ув. 3000



«Хитачи» (Япония). Образцы из различных участков конкреций монтировали в препараты с плоской поверхностью, на которую для создания проводящей пленки напылялось золото.

На рис. 3 видно, что гиббсит образует хорошо сформированные кристаллы. Видны также отдельные кристаллы, их щетки и друзы на остатках почвообразующей породы. Примечателен габитус кристаллов. По-видимому в силу развития форм $\{001\}$ и $\{110\}$ кристаллы новообразованного гиббсита обладают псевдоромбоэдрическим обликом, а не псевдо-

Таблица 2

Химический состав горно-луговой почвы Килиманджаро
(знаменатель — % на прокаленную, числитель — абсолютно сухую навеску)

Горизонт, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Потери при прокаливании, %	Сумма
A ₁ /T 5—18	18,65	25,29	18,20	0,95	0,72	0,31	0,34	33,80	97,31
	28,93	39,23	28,24	1,47	1,12	0,48	0,53	—	100,00
A ₁ /B 18—32	16,60	34,00	21,40	0,82	1,59	0,26	0,34	24,06	99,07
	22,13	45,33	28,53	1,09	2,12	0,35	0,45	—	100,00
B 32—100	10,40	36,75	30,60	0,50	1,43	0,19	0,12	18,82	98,81
	13,00	45,94	38,25	0,63	1,79	0,24	0,15	—	100,00
C 100—126	27,40	33,30	24,20	1,27	1,91	0,19	0,60	10,36	99,23
	30,83	37,47	27,23	1,43	2,15	0,21	0,68	—	100,00

гексагональным, как это обычно отмечается в справочниках [2]. Встречаются простые двойники или параллельные сростания двух кристаллов.

Результаты исследований на сканирующем микроскопе свидетельствуют о том, что новообразованный гиббсит кристаллизуется из водных растворов в микрополостях иллювиального горизонта, а не возникает в результате стадийного преобразования минералов почвообразующей породы или их метасоматического замещения.

В табл. 2 приведены результаты химического анализа почв, в профиле которых накапливается гиббсит. Распределение содержания основных химических элементов по генетическим горизонтам позволяет заключить, что в гор. В накапливается железо и алюминий. Так как в конкрециях содержание алюминия превышает содержание железа, то можно предположить, что алюминий в профиле данной почвы обладает большей способностью к свободному перемещению и образованию сегрегаций кристаллической гидроокиси, в то время как железо при вымывании преимущественно связывается на поверхности глинистых частиц и частично образует гелевые скопления, сохраняющие в дальнейшем метаколлоидное строение. По рекомендации Горбунова [1] для оценки степени кристалличности окиси железа мы произвели последовательную трехкратную вытяжку Мера — Джексона. Было извлечено 13,27% Fe₂O₃. Следовательно, более половины всей окиси железа в конкреции содержится в некристаллических и слабокристаллизованных формах.

Имеются факты, указывающие на то, что часть алюминия вовлекается в энергичную боковую миграцию. Выше упоминалось, что на крутых склонах в верхней части профиля под торфяным горизонтом обособляется горизонт светло-ржавого цвета. Его рыхлая масса состоит преимущественно из свободной гидроокиси алюминия. Условия залегания этого горизонта свидетельствуют о том, что он образовался за счет выпадения окиси алюминия и некоторых других соединений из почвенных вод, фильтровавшихся через рыхлую массу торфяного горизонта на достаточно крутых склонах. Более плотный гумусовый горизонт играл роль водоупора.

В табл. 3 сопоставлен состав этого горизонта и конкреций. Если в конкрециях содержание окиси алюминия примерно в 1,5 раза больше, чем в почвообразующей породе, то в светло-ржавом горизонте содержание увеличивается более чем в 2 раза. Возникает вопрос — почему свободная гидроокись алюминия, источником которой являются минералы почвообразующей породы, аккумулируется в верхней части профиля, над гумусовым горизонтом?

Ответ на этот вопрос заключается в особенностях состава продуктов отмирания растительности горных лугов. Результаты анализов показали,

Таблица 3

Химический состав новообразований гидроокиси алюминия, знаменатель — на прокаленную, числитель — на абсолютно сухую навеску (аналитик Л. В. Алещуккин)

Объект анализа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Потери при прокаливании	Сумма
Конкреция	2,69	49,44	25,50	5,96	1,03	0,86	0,16	0,10	13,74	99,48
	3,00	57,10	29,49	6,92	1,20	0,99	0,18	0,12	—	100,00
Светло-ржавый горизонт	4,29	64,70	8,90	Не опр.	0,60	0,49	0,13	0,06	19,57	98,74
	5,32	80,25	11,05		0,74	0,62	0,16	0,07	—	98,21

Таблица 4

Химический состав торфяного горизонта горно-луговой почвы Килиманджаро (аналитик Е. С. Горячева)

Компонент	Валовый состав золы*	Состав абсолютно сухой, без примесей, бескарбонатной золы	Содержание сухо-го торфа, % от веса
SiO ₂ (5% HCl)	Не опр.	4,85	0,48
SiO ₂ (5% KOH)	»	17,96	1,77
SiO ₂ всего	26,52	22,81	2,25
	27,05		
Al ₂ O ₃	33,13	35,80	3,53
	33,78		
Fe ₂ O ₃	23,11	21,43	2,12
	23,57		
P ₂ O ₅	0,90	1,35	0,13
	0,92		
TiO ₂	2,53	1,08	0,11
	2,58		
CaO	3,78	6,34	0,63
	3,86		
MgO	2,70	4,53	0,45
	2,75		
SO ₃	2,50	1,04	0,10
	2,55		
MnO	0,21	0,51	0,05
	0,21		
Na ₂ O	0,68	0,73	0,07
	0,69		
K ₂ O	2,32	4,05	0,40
	2,37		
Сумма	100,41	99,70	9,84
	100,33		

* Числитель — % на абсолютно сухую, знаменатель — на прокаленную навеску.

что горнолуговая травянистая растительность весьма активно поглощает основные химические элементы почвообразующей породы. Поэтому в валовом составе золы неразложенных растительных остатков, которые образуют торфяной горизонт, содержание этих элементов почти такое же, как в гор. С изученных почв. Если рассмотреть состав «чистой» золы, т. е. бескарбонатной и лишенной нерастворимых в 5%-ной соляной кислоте примесей, то для содержания окиси алюминия будет еще больше. Обычно алюминий поглощается травянистой растительностью слабо. Коэффициент биологического поглощения этого элемента измеряется величиной $n \cdot 10^{-2}$. В горнолуговых ландшафтах Килиманджаро вели-

Таблица 5

Состав гумуса горно-луговой почвы Килиманджаро

Горизонт и глубина, см	Общий С	Общий N	C:N	Сгк	Сфк	С остатка	Сгк : Сфк	Еп:Е _с
A ₁ /т 5—18	Не опр.	2,72	Не опр.	$\frac{1,82}{—}$	$\frac{4,88}{—}$	Не опр.	0,37	4,25
A ₁ /В 18—32	6,25	1,20	15,2	$\frac{1,15}{18,40}$	$\frac{2,17}{35,0}$	$\frac{1,82}{46,60}$	0,53	4,41
В 32—100	2,80	0,56	5,0	$\frac{0,32}{11,40}$	$\frac{0,92}{33,0}$	$\frac{1,56}{55,60}$	0,35	5,0

Примечание. Числитель — % от веса абсолютно сухой почвы, знаменатель — % от С общего.

чина коэффициента возрастает на два математических порядка. В 100 г сухого торфа на поверхности почвы содержится более 3,5 г окиси алюминия (табл. 4).

В процессе гумификации растительных остатков в гор. А₁/т происходит образование гумусовых соединений как гуматной, так и фульватной основы, но содержание фульвокислот более чем в 2 раза превышает содержание гуминовых (табл. 5). На сравнительно пологих участках, где происходит устойчивая вертикальная фильтрация почвенного раствора, преобладание фульвокислот выдерживается на протяжении всего профиля. На крутых склонах значительная часть растворимых в воде фульватных соединений фильтруется с внутрпочвенным стоком вниз по склону.

При преобразовании растительных остатков освобождаются значительные количества железа и особенно алюминия. Учитывая преобладание фульватных форм гумуса в изученных почвах, можно предполагать, что перенос металлов осуществляется в виде комплексных воднорастворимых соединений. Их устойчивость оказывается непродолжительной. При вертикальной фильтрации они разрушаются на глубине около 80—90 см, а при боковой миграции на крутых склонах — на протяжении 10—20 м. После разрушения комплексных металлоорганических соединений железо образует коллоидные формы и осаждается в виде гелей с последующей их кристаллизацией, а гидроокись алюминия нормально кристаллизуется из водных растворов с образованием кристаллов величины от $1—2 \cdot 10^{-4}$ до $1—2 \cdot 10^{-3}$ см.

Изложенные факты показывают, что образование гиббсита в изученных почвах происходит не в результате преобразования минералов почвообразующей породы *in situ*, а в итоге биологического круговорота; этот цикл последовательно включает в себя аккумуляцию алюминия растительностью, освобождение его при гумификации растительных остатков, миграцию в виде комплексных соединений и после их разрушения — кристаллизацию гидроокиси алюминия из почвенного раствора при рН около 6,5.

В заключение необходимо отметить, что образование гиббсита в горнолуговых почвах Африки происходит не только в специфических биоклиматических условиях, но и при наличии горных пород, состоящих из легкоразрушаемых силикатов алюминия и железа. Такие породы слагают массивы Килиманджаро и Кении. В случае кристаллических пород, состоящих из кварца и устойчивых силикатов, образование минералов свободной гидроокиси алюминия в горнолуговых почвах затруднено. Такое явление наблюдается на массиве Рувензори, сложенном гнейсами и кристаллическими сланцами. В травянистой растительности этого массива содержание алюминия на математический порядок меньше, чем в травянистой растительности Килиманджаро, а в почвах не обнаружены новообразования гиббсита.

Литература

1. Горбунов Н. И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения. Изд-во АН СССР, М., 1963.
2. Дэна Дж. Л. и др. Система минералогии, т. 1, 2. Окислы и гидроокислы. Изд-во иностр. лит., М., 1951.
3. Salt G. A contribution to the ecology of upper Kilimandjaro. J. Ecol., v. 42, 1954.
4. Thorp J., Bellis A. Soils of Kenya Highlands in relation to landforms. 7-th Intern. Congr. Soil Sci., Madison, U. S. A., 1960.
5. Volkens G. Der Kilimandscharo. Berlin, 1897.

Московский государственный
педагогический институт
им. В. И. Ленина

Дата поступления
19.IV.1976 г.

V. V. DOBROVOLSKY

NEW FORMATIONS OF ALUMINIUM HYDROXIDES IN HIGH MOUNTAIN SOILS OF AFRICA

New formations of aluminium hydroxides in soils of mountain areas in Africa are characterized. It has been shown that the formation of gibbsites in these soils occurs due to the biological turnover and proceeds both in connection with some specific bioclimatic conditions and with the presence of parent materials of certain composition.
