

УДК 631.442.73:546.72

## РАЗЛИЧИЕ ФОРМ ЖЕЛЕЗА В КРАСНЫХ И ЖЕЛТЫХ ФЕРРАЛИТНЫХ ПОЧВАХ КОНГО

Ю.Н. ВОДЯНИЦКИЙ, В.И. САВИЧ, Ф.НГАССИ

(Кафедра почвоведения)

**Ферраллитные почвы Конго сильно различаются по ряду свойств соединений железа. Валовое содержание железа выше в желтых почвах, чем в красных. Вынос железа из верхних горизонтов красных почв больше, чем из желтых почв. В этих же горизонтах красных почв происходит разрушение литогенных ферримagnetитов (магнетита-магнетита), тогда как в желтых почвах идет синтез педогенных ферримagnetитов.**

Железо — один из важных химических элементов почвы. Благодаря широкой распространенности, способности менять валентность, образовывать комплексы с органическими лигандами железо играет особую роль в формировании почвенного профиля [1, 3]. Кроме того, оксиды железа участвуют в формировании агрономически ценной структуры, а также определяют во многом заряд коллоидов и сорбционные свойства по отношению к катионам и анионам. Таким образом, оксиды железа определяют многие физические, химические и физико-химические свойства почв. Все это указывает на необходимость детального их изучения.

Цель данного исследования состояла в том, чтобы выявить генетические различия в формах

железа красных и желтых ферраллитных почв Конго.

### Методика

В качестве объектов исследования выбраны почвы двух геохимических катен.

Катена 1 находится в долине реки Ниари на юге Конго, она пересекает несколько террас реки. Здесь доминируют желтые ферраллитные почвы. Средняя годовая температура 26°С, в год выпадает 1200—1350 мм осадков [5].

Катена 2 расположена вблизи г. Весо на севере Конго, она охватывает водораздел и склон холма. Преобладающими здесь являются красные ферраллитные почвы. Средняя годовая температура та же — 26°С, но количество осадков больше, чем на юге Конго, — 1600—1800 мм [5].

Протяженность катен 1—1,5 км. Проводились химическое фракционирование соединений железа и измерение магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) как почвы в целом, так и ее илистой фракции. Для определения генетических различий рассматриваемых почв применяли наряду с традиционными и новый метод математической обработки результатов и новый критерий педогенности минералов железа.

Валовое содержание железа ( $Fe_d$ ) определяли на рентгенфлуоресцентном анализаторе VRA-30. Содержание оксидатора сорбимого железа по Тамму ( $Fe_d$ ) ингерпретировали как сумму слабоокристаллизованных и аморфных соединений железа [2]. Общее содержание свободных его соединений ( $Fe_d$ ) определяли по Мера-Джексоу. Разница ( $Fe_d - Fe_d$ ) характеризует количество сильноокристаллизованных соединений железа.

Распределение по профилю форм железа и магнитной восприимчивости оценивали с помощью показателя аккумулятивности  $S$  [1], значения которого меняются в интервале от 0 до 1. При  $S > 0,5$  распределение признака аккумулятивное, при  $S < 0,5$  — эдвовиальное.

### Результаты

Изучали генезис оксидов железа путем сопоставления магнитной восприимчивости почвы в целом и ее илистой фракции. Известно, что размеры унаследованных от горной породы кристаллов оксидов железа весьма крупные, поэтому при гранулометри-

ческом фракционировании они попадают в крупнопылеватые и даже в песчаные фракции. В то же время новообразованные, синтезированные в почве кристаллы более мелкие. При гранулометрическом фракционировании педогенные частицы концентрируются в илистой фракции. Таким образом, по результатам сопоставления значений магнитной восприимчивости почвы в целом и ее илистой фракции можно судить о литогенности или педогенности оксидов железа.

При сопоставлении значения магнитной восприимчивости ила и почвы в целом часто приходят к выводу о концентрации ферримагнетиков в илистой фракции. Однако здесь нужно учесть одну тонкость: если выразить магнитную восприимчивость в расчете на 1% свободного железа, то оказывается, что в иле она ниже, чем в почве в целом, т.е. оксиды железа в илистой фракции менее «ферримагнитны» [2]. Отсюда следует, что без учета степени ожелезненности гранулометрических фракций можно сделать ложный вывод о концентрации ферримагнитных оксидов железа в иле на основании одних только результатов измерения магнитной восприимчивости почвы и ила.

Таким образом, в качестве критерия педогенности сильномагнитных оксидов железа нельзя использовать простое отношение  $\chi_{\text{поч}} / \chi_{\text{ил}} \geq 1$ . Отметим, что и в красных, и в желтых ферраллитных почвах Конго это отношение  $> 1$ . Для корректного сопоставления магнитной восприимчивости необходимо учитывать разную оже-

лезненность этих фракций почвы. Это можно выполнить, нормируя восприимчивость почвы и ила по содержанию свободных, дитио-нитрастворимых соединений железа. В результате критерий педогенности оксидов железа ( $K_n$ ) под-считывается так:

$$K_n = \frac{\chi_{п.оч} \cdot Fe_{д.ил}}{\chi_{ил} \cdot Fe_{д.п.оч}}$$

В тех случаях, когда  $K_n > 1$ , сильномагнитные оксиды железа литогенные, а когда  $K_n < 1$  — педогенные.

В соответствии с группировкой Водяницкого [2] валовое содержание железа в красных почвах колеблется от умеренно низкого до среднего уровня (табл. 1). Отметим, что в красных ферраллитных тропических почвах Шри Ланки, Кубы, Бирмы, Камбоджи валовое содержание железа гораздо выше [3, 4] и попадает в градацию «высокое». Такая слабая ожелезненность красных конголезских почв обусловлена бедностью этим элементом почвообразующих пород в связи с их легким гранулометрическим составом.

Таблица 1

Содержание соединений железа в почвах (числитель — % к массе почвы, знаменатель — % к  $Fe_2$ )

Глубина. см	Валовое. %	Силикатное	Свободное	Сильно-окристаллизованное	Слабоокристаллизованное аморфное
-------------	------------	------------	-----------	---------------------------	----------------------------------

Катена 2. Красная ферраллитная типичная легкосуглинистая

Разрез 10

0—10	0.86	$\frac{0.30}{35}$	$\frac{0.56}{65}$	$\frac{0.30}{35}$	$\frac{0.26}{30}$
12—22	1.76	$\frac{0.85}{48}$	$\frac{0.91}{52}$	$\frac{0.66}{37}$	$\frac{0.25}{14}$
30—40	1,75	$\frac{0.84}{48}$	$\frac{0.91}{52}$	$\frac{0.76}{43}$	$\frac{0.15}{9}$
67—77	2,25	$\frac{0.78}{35}$	$\frac{1.47}{65}$	$\frac{1.36}{60}$	$\frac{0.11}{5}$
110—120	2,95	$\frac{0.36}{12}$	$\frac{2.59}{88}$	$\frac{2.48}{84}$	$\frac{0.11}{4}$

Разрез 11

0—8	2,83	$\frac{1.26}{40}$	$\frac{1.57}{55}$	$\frac{1.27}{45}$	$\frac{0.30}{11}$
15—25	3,14	$\frac{1.13}{36}$	$\frac{2.01}{64}$	$\frac{1.84}{58}$	$\frac{0.17}{5}$
60—70	3,16	$\frac{1.07}{33}$	$\frac{2.09}{66}$	$\frac{1.97}{62}$	$\frac{0.12}{4}$

Глубина, см	Валовое, %	Силикатное	Свободное	Сильнокристаллизованное	Слабокристаллизованное, аморфное
-------------	------------	------------	-----------	-------------------------	----------------------------------

110—114	3.17	<u>1,20</u> 38	<u>1,97</u> 62	<u>1,82</u> 57	<u>0,15</u> 5
---------	------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------

*Катена 1. Желтая ферраллитная  
Разрез 2. Конкреционная глинистая*

0—15	5.40	<u>2,24</u> 41	<u>3,16</u> 58	<u>3,03</u> 56	<u>0,13</u> 2
15—35	5.96	<u>2,46</u> 41	<u>3,50</u> 59	<u>3,37</u> 56	<u>0,13</u> 2
45—55	5.73	<u>2,13</u> 37	<u>3,60</u> 62	<u>3,44</u> 60	<u>0,16</u> 3
65—75	7.14	<u>3,68</u> 51	<u>3,46</u> 48	<u>3,28</u> 46	<u>0,18</u> 3
120—130	12.40	<u>7,68</u> 62	<u>4,72</u> 38	<u>4,50</u> 36	<u>0,22</u> 2

*Разрез 7. Типичная глинистая*

0—5	2.70	<u>1,35</u> 50	<u>1,35</u> 50	<u>1,10</u> 41	<u>0,25</u> 9
5—20	2.65	<u>1,03</u> 39	<u>1,62</u> 61	<u>1,38</u> 52	<u>0,24</u> 9
30—40	5.38	<u>3,53</u> 65	<u>1,85</u> 35	<u>1,71</u> 32	<u>0,14</u> 3
70—80	4.77	<u>2,89</u> 60	<u>1,88</u> 40	<u>1,77</u> 37	<u>0,11</u> 3
110—120	4.66	<u>2,78</u> 60	<u>1,88</u> 40	<u>1,75</u> 37	<u>0,13</u> 3
135—145	5.42	<u>3,14</u> 58	<u>2,28</u> 42	<u>2,13</u> 39	<u>0,15</u> 3
185—195	8.08	<u>4,69</u> 58	<u>3,39</u> 42	<u>3,14</u> 39	<u>0,25</u> 3

В желтых ферраллитных почвах, вскрытых в катене 1, валовое содержание железа ( $Fe_2$ ) выше, чем в красных, и колеблется от умеренно низкого до умеренно высокого уровня. Более значительное

количество  $Fe_2$  в желтых почвах связано с большей ожезненностью почвообразующих пород и более тяжелым гранулометрическим составом.

Очень важным показателем яв-

ляется относительное содержание  $Fe_d$  в почве, так как оно используется в классификационных целях. По Зонну [2], ферраллитные почвы содержат свободного железа больше 50 отн. %.

Красные почвы, расположенные на плато и склоне, по этому критерию относятся к ферраллитным: в них  $Fe_d$  — от 54 до 68 отн. %. По данному показателю желтые почвы также представлены преимущественно ферраллитными разновидностями:  $Fe_d$  — от 41 до 63 отн. %.

Таким образом, степень высвобождения железа из решетки силикатов здесь не столь велика, как в других ферраллитных почвах, где она достигает 80 отн. % и более. По-видимому, красные и желтые почвы Конго находятся на начальной стадии ферраллитизации и не относятся к типичным ферраллитным.

Распределение  $Fe_b$  по профилю красных почв слабоэлювиальное:  $S$  — от 0,42 до 0,49. В желтых почвах элювиальность распределения  $Fe_b$  выражена сильнее: значение  $S$  снижается до 0,37—0,46. Элювиальный характер распределения  $Fe_b$  присущ многим типам почв в областях с гумидным режимом. Эта закономерность отражает глобальный процесс обезжелезнения почв.

Рассмотрим профильное распределение свободных соединений железа. Для красных почв характерно слабоэлювиальное распределение свободных соединений:  $S$  — от 0,31 до 0,52. Желтые почвы отличаются сильноэлювиальным распределением  $Fe_b$  по профилю:  $S$  — 0,34—0,48 (табл. 2). По-видимому, в желтых почвах в периоды восстановления происходит интенсивный вынос железа из верхних горизонтов.

Таблица 2

Средневзвешенное содержание (M) и показатель аккумулятивности (S) валового и дитионитрастворимого железа

Элемент рельефа	$Fe_b$		$Fe_d$		
	M, %	S	M, %	S	M. % к $Fe_b$

*Катена 2. Красные почвы*

Плато:					
разр. 11	3,07	0,49	1,97	0,49	63
Склон:					
разр. 10	2,20	0,42	1,53	0,31	68
» 12	2,46	0,47	1,32	0,52	54

*Катена 1. Желтые почвы*

Плато:					
разр. 2	7,81	0,37	3,92	0,42	51
» 7	5,59	0,42	2,29	0,34	41
Склон, разр. 8	5,04	0,43	2,69	0,48	53
Равнина, разр. 3	2,29	0,42	1,35	0,45	60
Склон, разр. 4	2,04	0,46	1,28	0,46	63

**Средневзвешенная магнитная  
восприимчивость (M)  
и показатель ее аккумулятивности  
в профиле (S)**

Элемент рельефа	S	M: 10 <sup>-6</sup> , см <sup>3</sup> /г
<i>Катена 2. Красные почвы</i>		
Плато, разр. 11	0,47	115
Склон:		
разр. 10	0,42	98
» 12	0,40	58
<i>Катена 1. Желтые почвы</i>		
Плато:		
разр. 2	0,61	11
» 7	0,75	12
Равнина, разр. 30	0,63	13
Склон, разр. 8	0,63	30

Следовательно, различия между красными и желтыми ферраллитными почвами находят отражение в содержании и распределении нескольких форм соединений железа. Вынос железа из верхних слоев красных почв менее интенсивный, чем из желтых. Это, возможно, обусловлено более высокими значениями Eh среды в красных почвах.

Измерения магнитной восприимчивости показали, что у красных ферраллитных почв ее значения колеблются от  $58 \cdot 10^{-6}$  до  $115 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г. Хотя в желтых почвах содержание валового железа выше, чем в красных, магнитная восприимчивость их гораздо ниже и изменяется от  $11 \cdot 10^{-6}$  до  $30 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г.

Значение этого показателя для плитистой фракции значительно выше, чем для почвы в целом (как красной, так и желтой).

В катене 2 самые высокие значения магнитной восприимчивости почвы отмечены на вершине плато, самые низкие — в понижении, близко к болоту (табл. 3). Выявлено систематическое уменьшение средних ее значений вниз по катене: 115 → 98 → 58 → 11.

На холме в условиях более высокого ОВ-потенциала наблюдаются и более активный синтез, и лучшее сохранение оксидов, чем в понижениях рельефа, где ОВ-потенциал низкий и сильномагнитные оксиды гидратируются до слабомагнитных гидроксидов железа.

Данные о магнитной восприимчивости, соответствующим образом обработанные, могут служить материалом для выводов о процес-

схождения в почвах сильных магнетитов, т.е. магнетита и/или маггемита. Для этого возможно применение нескольких приемов анализа.

Обратимся к анализу профильного распределения магнитной восприимчивости. Литогенные сильные магнетиты обычно распределяются в профиле по эдвигиальному закону, а педогенные — по аккумулятивному.

Средневзвешенная магнитная восприимчивость в катене 2 красных почв последовательно убывает от плато к понижению, изменяясь от  $115 \cdot 10^{-6}$  до  $11 \cdot 10^{-6}$ . Таким образом, относительно высокая магнитная восприимчивость сохраняется только на возвышенных элементах рельефа в условиях постоянно высокого ОВ-потенциала.

Для красных почв значение показателя S варьирует от 0,40 до 0,47, что свидетельствует о слабоэдвигиальной форме распределе-

ния. Этот факт служит доказательством литогенности сильных магнетиков в красных почвах.

Иная картина в желтых почвах. В катене I средняя магнитная восприимчивость низкая — от  $11 \cdot 10^{-6}$  до  $39 \cdot 10^{-6}$ . Зато показатель аккумулятивности S высокий — 0,61—0,75. Это обстоятельство указывает на педогенный характер сильных магнетиков в желтых ферраллитных почвах (однако таких магнетиков в почвах мало).

Следовательно, в красных почвах, где распределение восприимчивости элювиальное, сильномагнитные оксиды железа (магнетит, маггемит) унаследованы от материнской породы; в ходе почвообразования магнетит и маггемит в верхних горизонтах окисляются до красноцветного слабомагнитного гематита. Напротив, в желтых почвах, где распределение магнитной восприимчивости ак-

кумулятивное, сильномагнитные оксиды железа в гумусовом слое образовались в ходе педогенеза.

Нами был проведен расчет концентрации ферромагнитных оксидов в красных и желтых ферраллитных почвах Конго (табл. 4). Тезис о том, что илистая фракция почвы обогащена глинистыми минералами, являющимися антагонистами упорядоченных оксидов железа, нашел подтверждение для желтых ферраллитных почв долины р. Ниари, где ферромагнетники распределены в профиле по аккумулятивному закону. Выразим магнитную восприимчивость в пересчете на 1% свободного железа, т.е. возьмем отношение  $\chi / Fe_d$ . Оказывается, что в иле она больше, чем в нерасчлененных желтых почвах. Значит, оксиды железа в иле более «ферромагнитны».

Таблица 4

Средние значения магнитной восприимчивости почв и ила ( $\chi$ ), восприимчивости 1% свободного железа ( $\chi / Fe_d$ ) и критерий педогенности ( $K_p$ )

Элемент рельефа	$\chi \cdot 10^{-6}$ , см <sup>3</sup> /г		$\chi / Fe_d \cdot 10^{-4}$ , см <sup>3</sup> /г · %		$K_p$
	почва	ил	почва	ил	
<i>Катена 2. Красные почвы</i>					
Плато, разр. 11	113	321	40,0	36,2	1,10
Склон:					
разр. 10	98	256	32,0	33,8	0,95
» 12	58	163	31,0	24,6	1,26
<i>Катена 1. Желтые почвы</i>					
Плато:					
разр. 2	11	20	2,0	2,4	0,83
» 7	12	22	3,7	4,2	0,88
Равнина, разр. 3	18	60	Не опр.	—	—
Терраса, разр. 6	39	117	11,0	18,8	0,58

Для красных ферралитных почв района Весо картина иная: оксиды железа более «ферромагнитны» в почве в целом, т.е. сильные ферромагнетики накапливаются больше в крупных фракциях, чем в илстой: отношение  $\chi/Fe_d$  выше для ила.

В катене 2, где преобладают красноцветные почвы, критерий педогенности высокней,  $K_p$  от 0,95 до 1,26. Значения критерия  $K_p \geq 1$  указывают на литогенность сильномагнитных оксидов. Напротив, в катене 1, где доминируют желтые ферралитные почвы,  $K_p$  от 0,58 до 0,88. Низкие значения критерия отражают педогенность сильномагнитных оксидов железа в желтых почвах.

### Выводы

1. Красные и желтые почвы Конго находятся на начальной стадии ферраллитизации и различаются по ряду свойств соединений железа. Валовое содержание железа выше в желтых почвах, чем в красных, что связано с различной ожелезненностью почвообразующих пород.

2. Вынос железа из верхних горизонтов красных почв больше, чем из тех же горизонтов желтых. Повышенный вынос железа связан с большим количеством осад-

ков в северном районе, где доминируют красные почвы.

3. Содержание ферромагнетиков (магнетит-маггемита) в желтых почвах ниже, чем в красных. В последних идет разрушение литогенных ферромагнетиков в верхних горизонтах. Литогенные ферромагнетики неустойчивы в условиях повышенной влажности севера Конго. Напротив, в желтых почвах в условиях меньшей влажности идет синтез педогенных ферромагнетиков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Водяницкий Ю.Н.* Анализ кри-вых распределения соединений железа по профилю почв. — Почвоведение, 1991, № 5, с. 29—36.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Образование оксидов железа в почве. М.: Рос-сельхозакадемия. Почвенный ин-т им. Докучаева, 1992.
3. *Зонн С.В.* Железо в почвах. М.: Наука, 1982.
4. *Мельниченко В.П.* Агрогенетическая характеристика ферралитных почв плантаций гевеи в Камбодже. — Автореф. канд. дис. М., 1989.
5. *Нгасси Ф.* Ферралитные почвы Конго и особенности их сельскохозяйственного использования. — Автореф. канд. дис. М., 1994.

*Статья поступила 27 января 1997 г.*

### SUMMARY

Ferralitic soils of Congo differ greatly in a number of characteristics of ferrum compounds. Gross content of ferrum is higher in yellow soils than in red ones. Removal of ferrum from upper horizons of red soils is higher than that from yellow soils. In the same horizons of red soils destruction of lithogenic ferrimagnetics (magnetite-maghemite) takes place, while in yellow soils there is a synthesis of pedogenic ferrimagnetics.