

УДК 631.861: 895

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-145-170

Ссылки для цитирования:

Якума Е.Г., Кой К., Азовцева Н.А., Пивень Е.А., Шуравилин А.В. Состав, свойства и особенности плодородия красной ферраллитной почвы пятилетней залежи в Республике Чад // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 99. С. 145-170. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-145-170

Cite this article as:

Yakouma E.G., Koy K., Azovtseva N.A., Piven E.A., Shuravilin A.V., Evaluation of the composition, properties and fertility of Haplic Ferralsol on the fields abandoned for five years in the Republic of Chad, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 99, pp. 145-170, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-145-170

Состав, свойства и особенности плодородия красной ферраллитной почвы пятилетней залежи в Республике Чад

© 2019 г. Е. Г. Якума^{1*}, К. Кой¹, Н. А. Азовцева²,
Е. А. Пивень¹, А. В. Шуравилин¹,

¹Российский университет дружбы народов,
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,
* e-mail: gahayakouma@gmail.com.

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2.

Поступила в редакцию 30.05.2019, после доработки 02.07.2019,
принята к публикации 21.11.2019

Резюме: Цель исследований состояла в изучении состава и свойств красной ферраллитной почвы пятилетней залежи в Республике Чад для определения возможности ее использования под культуру хлопчатника. Дана оценка морфологического строения почвы, изучены гранулометрический и валовой состав, емкость катионного обмена и содержание обменных катионов, агрохимические и агрофизические свойства по почвенным горизонтам. Красные ферраллитные почвы региона обладают большой мощностью почвенного профиля и постепенным переходом между генетическими горизонтами, а также имеют облегченный гранулометрический состав верхней части профиля.

Основу валового химического состава красных ферралитных почв составляют SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 , которые по глубине почвенного профиля варьируют в пределах 61.83–82.73 %, 3.50–6.40 % и 11.46–29.25 % соответственно. Почвы характеризуются низкой емкостью катионного обмена (6.6–11.1 смоль (экв)/кг. Среди обменных катионов определяющим является кальций (Ca^{2+}). В верхних почвенных слоях содержание гумуса составляет 1.53–1.66 %. Почвы характеризуются кислой реакцией – от средней кислой в верхних горизонтах до очень сильно кислой в нижнем горизонте. Содержание подвижных соединений фосфора и калия в профиле составляет соответственно 0.76–1.09 мг/100 г и 0.05–1.48 мг/100 г. По своим агрофизическим свойствам почвы могут использоваться для возделывания хлопчатника. В верхнем слое (0–42 см) плотность почвы составляет 1.36–1.45 г/см³, общая пористость – 45.9–48.9 % и наименьшая влагоемкость – 22.4–25.7 %.

Ключевые слова: гранулометрический состав, валовой состав, емкость катионов обмена, гумус, кислотность, подвижный фосфор, подвижный калий, плотность сложения, пористость, наименьшая влагоемкость.

Evaluation of the composition, properties and fertility of Haplic Ferralsol on the fields abandoned for five years in the Republic of Chad

**E. G. Yakouma^{1*}, K. Koy¹, N. A. Azovtseva²,
E. A. Piven¹, A. V. Shuravilin¹**

¹*RUDN University,
6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation,
e-mail: gahayakouma@gmail.com.

²*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation.*

Received 30.05.2019, Revised 02.07.2019, Accepted 21.11.2019

Abstract: The article deals with the fertility of red ferralitic soils in the Republic of Chad. The studies were carried out in the period between 2016 and 2018 in the southern part of the province of Moundou on the red ferralitic soils (Haplic Ferralsol) of the Cotton-Chad farm, which cultivates cotton first of its formation. Haplic Ferralsols are characterized by significant reservoir thickness and are not rich in nutrients. The aim of our research was to study the composition and properties of the Haplic Ferralsols of the fields abandoned for five years for their use under cotton export culture. We have

evaluated the morphological structure of the soil on neglected fields and its description by genetic horizons, studied the particle size distribution of the soil profile, its gross composition, cation exchange capacity, the content of exchangeable cations, and also considered the agrochemical and agrophysical properties of soil horizons. It has been established that Haplic Ferralsols have their own characteristics: red color, thick soil profile and a gradual transition between genetic horizons, and lightweight granulometric composition in the upper part of the profile. The basis of the gross chemical composition of Haplic Ferralsols is SiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3 , the content of which varies depending on the depth of the soil profile within the ranges of 61.83–82.73 %, 3.50–6.40 % and 11.46–29.25 % correspondingly. Haplic Ferralsols are characterized by a high cation exchange capacity (6.6–11.1 cmol (eq)/kg). Among the exchangeable cations, calcium (Ca^{2+}) is the most essential. Haplic Ferralsols are moderately provided with humus. In the upper soil layers (up to 42 cm), its content varied within 1.53–1.66 %. Soils are characterized by acidic reactions – from moderately acidic in the upper horizons to very strongly acidic in the lower horizon. The content of mobile compounds of phosphorus and potassium in the profile is low and very low, respectively, 0.76–1.09 mg/100 g and 0.05–1.48 mg/100 g. According to its agrophysical properties, the soil may be used for cotton growing. In the upper soil layer (0–42 cm) the bulk density is 1.36–1.45 g/cm³, the total porosity is 45.9–48.9 % and the field water-holding capacity is 22.4–25.7 %.

Keywords: grain-size distribution, gross composition, capacity of exchange cations, humus, acidity, labile phosphorus, labile potassium, bulk density, porosity, field moisture capacity.

ВВЕДЕНИЕ

Красные ферраллитные почвы широко распространены в тропических странах Мира ([Сагоян, 1993](#); [Турсина, Соколов, 2008](#); [Хисен, Чернов, 2009](#); [Allan, 1965](#); [Aubert, Segalen, 1986](#); [Bekayo, 1998](#); [Conklin, 1957](#); [Fosbrooke, 1974](#); [Maignien, 1959](#); [Mohr, van Varen, 1954](#); [Nye, Greenland, 1964](#)). Их свойства достаточно хорошо изучены ([Розов, 1979](#); [Соколов, 1988](#); [Чернов и др., 2009](#)). Тропический пояс занимает площадь 1.7 млрд га, что составляет около 37 % площади суши. Ферраллитные почвы тропиков формируются в Африке (от сахельского и суданского до экваториального гумидного пояса). Красные ферраллитные почвы широко используются в сельском хозяйстве Республики Чад. Площадь сельскохозяйственных угодий составляет 49.9 млн га (2014 г.), из них на

долю пастбищ приходится 90.1 %, пашни – 9.8 %, многолетних насаждений – 0.1 %. Главные сельскохозяйственные культуры: хлопчатник (валовой сбор хлопка-сырца в 2014 г. составил 108 тыс. т, в т. ч. семян – 80 тыс. т, выращивают его главным образом в южных районах). Однако, несмотря на большую важность, для сельского хозяйства свойства этих почв до сих пор изучены недостаточно ([Tursina et al., 1992](#)). Правильное и рациональное использование данных почв возможно лишь на основе детального изучения физико-химических и агрохимических особенностей и их изменения при сельскохозяйственном использовании. В сельском хозяйстве Чада почвы часто специально переводят в залежь для восстановления их плодородия ([Maignien, 1959](#); [McGrath, 1987](#); [Mohr, van Varen, 1954](#); [Nye, Greenland, 1960](#)). После залежи их опять вводят в оборот под культуры, которые на момент ввода считаются наиболее экономически значимыми. Одной из таких культур в настоящее время является хлопчатник ([Сагоян, 1993](#)). Цель настоящей статьи состоит в исследовании свойств красной ферраллитной почвы пятилетней залежи в Республике Чад для оценки возможности ее использования при выращивании хлопчатника.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований послужили красные ферраллитные почвы. Образцы почв были отобраны в 2016 г. в районе города Мунду (8°44'02.3" N; 17°21'28.4" E) – регион Бекамба республики Чад (Центральная Африка) (рис. 1, 2).

Красные ферраллитные почвы в литературе *Ferralsols* описаны как *Sols ferrallitiques rouges* (Франция), *Oxisols* (США), *Latossolos* (Бразилия); *Alítico, Ferrítico u Ferralítico* (Куба) (WRB, 2015). Поскольку в Чаде не применяется World reference base for soil resources, в работе используется исключительно французская классификация почв ([Référentiel pédologique, 2008](#)) в прямом переводе на русский язык ([Почвенный справочник, 2000](#)).

Самый теплый месяц года – май, средняя температура воздуха – +31.7 °С, средняя температура января – +20.9 °С. Это самая низкая средняя температура в течение года. Средняя годовая температура воздуха в данном районе составляет +26.7 °С.

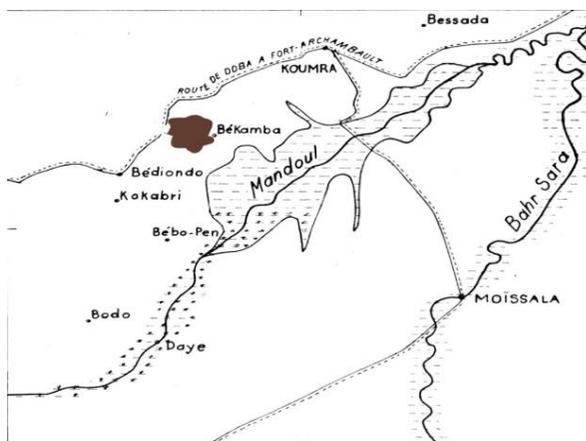


Рис 1. Карта-схема территории исследования.
Fig. 1. Map of the study area.



Рис 2. Схематическая карта Республики Чад. Красным кругом показано положение территории исследования.
Fig. 2. Schematic map of the Republic of Chad. The red circle shows the location of the study area.

В год выпадает около 900 мм осадков. Самый сухой месяц – январь (около 0 мм). Большая часть осадков выпадает в августе (в среднем 160 мм). Варьирование показателей климата по годам приведено в таблице 1. Следует отметить, что во влажный сезон (с июня по ноябрь) хлопок и другие сельскохозяйственные культуры выращивают в данном регионе без орошения.

Почвы опытного участка – красные ферраллитные легкосуглинистые, которые сформировались на однородных почвообразующих породах, представляющих собой четвертичные отложения. При определении агрофизических и химических свойств почвы были использованы общепринятые методы. Морфологическое описание почвенного профиля проведено по разрезу глубиной 2 м, заложенному на пятилетней залежи перед ее распашкой. Гранулометрический состав почвы определяли методом пипетки по Н.А. Качинскому. Плотность твердой фазы – пикнометрически, плотность сложения – методом цилиндров. Пористость определялась расчетным путем. Наименьшую влагоемкость (НВ) определяли методом залива площадок по Л.П. Розову, максимальную гигроскопичность (МГ) – по методу А.В. Николаева, влажность завядания (ВЗ) – расчетным методом ($VZ = MG \times 1.5$). Агрохимические анализы проводились по методикам Е.В. Аринушкиной ([Аринушкина, 1970](#)). Гумус – по методу И.В. Тюрина, валовое содержание фосфора и азота – по А.М. Мещерякову, валовое содержание калия – потенциметрически, подвижные формы азота, фосфора и калия – по методикам СоюзНИХИ (1963). Поглощенные основания и емкость поглощения – по Пфейфферу. Аналитическая повторность трехкратная, вычислялись коэффициенты линейной корреляции $R^2 = 0.95$. Статистическую обработку выполняли с помощью программы Microsoft Office Excel.

Таблица 1. Метерологические показатели периодов вегетации хлопчатника за 2016–2018 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями

Table 1. Meteorological parameters of cotton vegetation periods for 2016–2018 in comparison with mean annual values

Год вегетации	Месяцы вегетации						Средние или сумма
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	
Температура воздуха, °С							
2016	28.3	30.3	31.0	29.8	26.6	27.0	28.8
2017	26.1	27.2	26.1	26.4	24.3	23.5	25.6
2018	25.4	25.8	24.5	24.2	21.7	21.2	23.8
Среднемноголетние	26.8	28.2	25.8	24.9	23.6	22.4	25.2
Сумма осадков, мм							
2016	129.3	128.7	125.8	123.1	122.6	120.7	750.2
2017	175.4	185.4	184.5	183.7	184.6	180.5	1094.1
2018	188.3	188.6	187.9	186.00	186.1	182.0	1118.9
Среднемноголетние	144.3	160.2	160.9	157.0	150.2	146.2	918.8
Относительная влажность воздуха, %							
2016	72.4	72.6	71.8	72.1	72.6	71.8	433.3
2017	75.1	77.8	75.2	74.3	75.1	74.7	452.2
2018	76.4	80.2	78.1	77.0	78.6	79.6	469.9
Среднемноголетние	73.7	74.8	76.4	75.6	76.8	78.4	455.7

Год вегетации	Месяцы вегетации						Средние или сумма
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	
Относительная влажность воздуха, %							
2016	72.4	72.6	71.8	72.1	72.6	71.8	433.3
2017	75.1	77.8	75.2	74.3	75.1	74.7	452.2
2018	76.4	80.2	78.1	77.0	78.6	79.6	469.9
Среднемноголетие	73.7	74.8	76.4	75.6	76.8	78.4	455.7
Испаряемость, мм							
2016	141.1	136.6	160.1	151.0	131.4	137.2	857.4
2017	117.0	108.9	116.5	122.3	109.1	107.1	680.9
2018	108.0	92.0	96.6	100.2	84.0	78.3	559.1
Среднемноголетие	127.0	128.3	109.6	109.3	98.63	87.3	660.1
Дефицит естественного увлажнения (осадки минус испарения), мм							
2016	-11.8	-7.9	-34.3	-27.9	-8.8	-16.5	-107.2
2017	58.4	76.5	68	61.4	75.5	73.4	413.2
2018	80.3	92	91.3	85.8	102.1	103.7	555.2
Среднемноголетие	17.3	50.6	51.3	47.4	51.57	58.9	258.7

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение профиля красных ферраллитных почв территории исследований имеет свои особенности. Они характеризуются красной окраской почвенных горизонтов с более темным тоном поверхностного гумусово-аккумулятивного горизонта, большой мощностью почвенного профиля. В разрезе отмечается размытость границы между почвой и корой выветривания и постепенный переход между генетическими горизонтами. Характерной чертой красной ферраллитной почвы является облегченный гранулометрический состав верхней части профиля и наличие высокой пористости. При описании морфологического строения генетического профиля красной ферраллитной почвы выделены следующие почвенные горизонты:

A₀ (0–4 см) – маломощный слой органических растительных остатков;

A (4–25 см) – гумусово-аккумулятивный горизонт;

AB (25–42 см) – переходный гумусово-метаморфический горизонт, красно-коричневого цвета;

B_m (42–68 см) – метаморфический горизонт, светло-коричневого цвета с красноватым оттенком;

B_{im} (68–105 см) – иллювиальный ферраллитно-метаморфический горизонт, красно-желтого цвета с перламутровым блеском;

C (105–200 см) – почвообразующая (материнская) порода, кирпично-красного цвета, местное название Терра Дэ Бар (*Terre de Barre*), очень плотная, увлажненная, гомогенная, бесструктурная, легкоглинистая.

Почва красная ферраллитная легкосуглинистая сверху с утяжелением по глубине на ферраллитной коре выветривания ферраллит-каолинитового состава легкоглинистой почвообразующей породы. В соответствии с международной классификацией ([WRB, 2015](#)) изученная почва относится к *Haplic Ferralsol (Loamic, Eutric, Ochric)*.

Результаты гранулометрического анализа красных ферраллитных почв (пирофосфатный метод подготовки) выявили резкую текстурную дифференциацию почвенного профиля на две зоны: первая зона, расположенная в верхней части почвенного профиля мощностью 42 см, представлена фракциями крупного и мелкого

песка, где его содержание превышало 50 %; вторая зона, расположенная в нижней части почвенного профиля глубиной более 42 см, сформирована преимущественно крупнопылеватыми, пылеватыми и иловатыми фракциями (табл. 2).

Таблица 2. Гранулометрический состав красной ферраллитной почвы, %
Table 2. Grain size distribution in the studied Haplic Ferralsol, %

Глубина, см	1–0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	< 0.001	< 0.01
0–4	25.8	27.5	20.1	4.2	8.2	14.2	26.6
4–25	27.4	29.4	15.8	2.7	4.2	20.5	27.4
25–42	21.8	28.6	19.8	4.5	5.8	19.5	29.8
42–68	17.3	21.8	22.8	4.3	5.0	28.7	38.0
68–105	14.5	16.4	24.4	5.1	8.7	30.9	44.7
105–112	11.8	19.3	17.1	3.9	10.5	37.4	51.8

В целом красная ферраллитная почва пятилетней залежи с поверхности земли до глубины 42 см представлена легким суглинком. В метаморфическом горизонте 42–68 см гранулометрический состав почвы был среднесуглинистый, а в иллювиальном ферраллитно-метаморфическом горизонте 68–105 см почва характеризовалась тяжелосуглинистым составом.

Наибольшее утяжеление (содержание физической глины 51.8 %) отмечено в материнской породе ниже 105 см от поверхности земли. При этом почвообразующая порода по гранулометрическому составу представлена легкой глиной. Увеличение содержания физической глины в почвенных горизонтах с глубиной почвенного профиля может свидетельствовать о протекании в исследуемой красной ферраллитной почве процессов ферраллитизации и лессиважа (табл. 3).

Валовой химический состав красных ферраллитных почв Республики Чад определяется особенностями процессов почвообразования. Наиболее важными химическими элементами являются кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий и натрий. Именно эти химические элементы вместе с кислородом составляют 99 % всей минеральной части почвы. При этом валовой химический состав почвы определяется гранулометрическим составом.

В минеральной части почвы содержится максимальное количество кремнезема (SiO_2), содержание которого с глубиной постепенно снижается от 67.73 до 46.83 % в материнской породе (табл. 3).

Таблица 3. Валовой состав исследуемых почв
Table 3. Gross composition of the studied soils

Горизонт	Глубина, см	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	Na_2O_3	P_2O_5	MnO	K_2O	MgO
A_0	0–4	82.73	3.86	11.46	0.07	0.08	0.18	0.03	0.07	0.03
A	4–25	81.80	3.50	12.50	0.06	0.06	0.25	0.06	0.11	0.05
AB	25–42	76.34	3.60	18.08	0.05	0.09	0.20	0.04	0.13	0.05
B_m	42–68	67.48	4.20	25.76	0.04	0.14	0.20	0.05	0.22	0.10
B_{tm}	68–105	62.64	6.32	28.74	0.02	0.19	0.09	0.06	0.31	0.24
C	105–112	61.83	6.40	29.25	0.02	0.23	0.10	0.09	0.27	0.26

По-видимому, такое распределение обусловлено литологической составляющей изучаемой почвы. Второе место в минеральной части почвы занимает алюминий, количество которого в почвенном профиле изменяется в широких пределах. Содержание окислов Al, в 2–3 раза превышает содержание Fe_2O_3 . Их содержание закономерно увеличивается в относительно оглиненном горизонте на глубине 42–68 см, что, очевидно, вызвано лессиважем. До глубины 42 см содержание Al_2O_3 изменялось от 7.50 до 12.08 %. В более глубоких почвенных горизонтах содержание алюминия увеличивается в 2–3 раза. Максимальное его количество наблюдается в нижней части иллювиального ферраллитно-метаморфического горизонта (28.7 %). Это происходит в результате процесса ферраллитизации. Оксиды алюминия и железа накапливаются относительно остальных, создавая характерный красный цвет почвы и коры выветривания. Содержание железа по профилю почвы изменяется в пределах 2.50–6.3 %. В целом наименьшее количество

оксидов Al и Fe наблюдалось в поверхностных почвенных горизонтах, а наибольшее – в глубоких горизонтах, что, по-видимому, связано с перераспределением илистой фракции по почвенному профилю. Корреляция содержания Fe_2O_3 с распределением ила указывает ([Дюшофур, 1970](#)) на образование недиссоциирующегося комплекса между глиной и железом. Такой процесс происходит при ферраллитизации почвенного профиля. Характерной особенностью рассматриваемой почвы является отсутствие почвенного горизонта с высоким содержанием железа.

Ферраллитные красные почвы характеризуются степенью насыщения ниже 40 %, илистой фракцией ([Schwertmann, 1988](#)), состоящей из каолинита, оксидов железа и оксида алюминия, соотношением $SiO_2 : Al_2O_3$ между 1.7 и 2. Количество кальция и магния в красной ферраллитной почве очень низкое и составляет соответственно 0.02–0.07 и 0.03–0.26 %. При этом низкое содержания кальция связано с составом коры выветривания (ферраллитно-каолинитовый состав почвообразующих пород). При этом содержание магния было заметно выше, чем кальция, особенно в иллювиальном горизонте и почвообразующей породе, где содержание MgO достигало 0.24–0.26 %. В минеральной части почвы содержание Na_2O_3 и K_2O было также невысоким. Содержание натрия по глубине профиля изменялось в пределах 0.06–0.19 %, а калия – 0.07–0.31 %, т. е. по глубине почвенного профиля наблюдается тенденция увеличения этих показателей. Количество марганца (MnO) очень низкое (0.03–0.09 %) и по глубине профиля отмечается несущественное увеличение его содержания. Количество фосфора по глубине почвенного профиля изменялось в пределах 0.09–0.25 %. Наибольшее его количество (0.18–0.25 %) было зафиксировано в верхнем почвенном горизонте до глубины 68 см, а ниже его количество уменьшилось в два раза (0.09–0.10 %).

Состав обменных катионов является главной особенностью физико-химической характеристики красных ферраллитных почв. Важнейшими катионами, определяющими почвенно-поглощающий комплекс этих почв, являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} (табл. 4).

Таблица 4. Обменные катионы красных ферраллитных почв
Table 4. Exchangeable cations of the studied Haplic Ferralisol

Горизонт	Глубина, см	Ca ²⁺		Mg ²⁺		H ⁺ + Al ³⁺		ЕКО	V
		смоль (экв)/кг	% от ЕКО	смоль (экв)/кг	% от ЕКО	смоль (экв)/кг	% от ЕКО	смоль (экв)/кг	%
A ₀	0–4	1.3	13.4	0.2	1.8	8.2	84.8	9.7	15.2
A	4–25	7.0	77.2	2.0	22.1	0.1	0.8	9.1	99.2
AB	25–42	7.0	86.0	1.0	12.3	0.1	1.7	8.1	98.3
B _m	42–68	6.0	91.2	0	0	0.6	8.8	6.6	91.2
B _{tm}	68–105	0.4	3.7	0.2	1.6	10.2	94.7	10.7	5.3
C	105–200	0.4	3.6	0.1	1.0	10.6	95.4	11.1	4.6

Степень насыщенности почв основаниями (V, %) – доля суммы обменных оснований от емкости катионного обмена, выраженная в процентах.

$$V = (S / \text{ЕКО}) \cdot 100, \%$$

по-другому можно записать $V = S / (S + \text{Hr}) \cdot 100, \%$.

Среди обменных катионов кальция (Ca²⁺) является определяющим, его содержание изменяется в широком диапазоне – от 0.4 до 7.0 смоль (экв)/кг. Наибольшее его содержание (6.0–7.0 смоль (экв)/кг) наблюдается в почвенных горизонтах А, АВ и В_m на глубинах 4–68 см, а наименьшее – 0.4 смоль (экв)/кг – в почвенных горизонтах В_{tm} и С. Содержание обменного магния было значительно меньше, чем кальция и изменялось от 0 до 2.0 смоль (экв)/кг из-за обеднения магнием красных ферраллитных почв, а также из-за сильной ферраллитизации коры выветривания. Оптимальный магниевый режим ферраллитных почв оценивают величиной соотношения Ca : Mg, равной 5 : 1 (Хисен, 2009). Заметное содержание обменного магния (1.0–0.2 смоль (экв)/кг) наблюдалось в верхних почвенных горизонтах А и АВ. По профилю отмечается заметное увеличение содержания катионов обменного водорода и алюминия с 0.1 до 10.6 смоль (экв)/кг, что обусловлено увеличением кислотности. Повышенное содержание обменного водорода и алюминия в горизонтах В и С обусловлено

снижением концентрации катионов кальция в почвенном поглощающем комплексе. В целом емкость катионного обмена изменялась в пределах 6.6–11.1 смоль (экв)/кг. Основные агрохимические свойства почв приведены в таблице 5.

Таблица 5. Агрохимические свойства красной ферраллитной почвы
Table 5. Agrochemical properties of Naplic Ferralisol

Горизонт	Гумус, %	N валовое, %	C : N	pH		Нг мг-экв/100г	P ₂ O ₅		Подвижный K ₂ O мг/100 г
				H ₂ O	KCl		Валовой, %	Подвижный мг/100 г	
A ₀	1.67	0.11	6.18	6.20	4.80	6.60	0.08	0.76	0.05
A	1.54	0.08	12.63	5.90	4.66	1.23	0.25	1.07	1.48
AB	1.53	0.07	13.14	5.52	4.50	1.23	0.20	0.96	0.96
B _m	1.07	0.06	11.16	4.82	4.18	2.45	0.20	0.67	0.61
B _{tm}	0.08	0.04	4.00	4.40	4.00	8.01	0.09	1.09	0.15
C	0.09	0.04	3.75	4.70	3.90	10.80	0.10	1.04	0.12

Из полученных данных следует, что почва слабо обеспечена гумусом. В горизонтах A₀, A и AB его содержание изменялось в пределах 1.53–1.66 %, с глубиной количество гумуса постепенно снижалось, и в почвенном горизонте B_m (42–68см) содержание гумуса составляло 1.07 %. В нижележащих горизонтах B и C содержание гумуса снижалось практически до 0. Валовое содержание общего азота с глубиной также постепенно снижалось – от 0.11 до 0.04 %. В целом почва обладает низкой обеспеченностью общего азота, за исключением дернового горизонта почвы (A₀), который характеризуется умеренно низкой обеспеченностью общим азотом. Следует отметить, что отношение C : N является узким по причине низкой обеспеченности азотом для горизонтов A₀, B и C, где оно изменялось от 3.75 до 6.18. Естественно самое узкое отношение характерно для горизонтов B и C. Отношение C : N было средним в горизонте B_m (42–68 см) и составило 11.16. Более ши-

рокое соотношение наблюдалось в почвенных горизонтах А и АВ (5–42 см) и изменялось в пределах 12.63–13.14.

Почвы характеризуются кислой реакцией. При этом рН по глубине почвенного профиля постепенно снижался от 6.20 до 4.40 и 4.80 до 3.90 соответственно при рН кислотной вытяжки в верхних горизонтах А₀ и А почва была средне кислой, в горизонтах АВ и В_м – сильно кислой, а в горизонтах В и С – очень сильно кислой. Гидролитическая кислотность (Нг) заметно изменялась по глубине почвенного профиля от 1.23 до 10.80 мг-экв/100 г. Наиболее благоприятной она наблюдалась в почвенных горизонтах А, АВ, В_м, где ее значения варьировало от 1.23 до 2.45 мг-экв/100 г. Повышение гидролитической кислотности от 6.60 до 10.80 мг-экв/100 г было зафиксировано в горизонтах А₀, В и С.

Валовое содержание фосфора достаточное высокое, особенно в горизонтах А, АВ и В_м и составляло 0.20–0.25 %. В дерновом слое А₀, а также в горизонтах В и С его количество уменьшалось до 0.08–0.10 %. Почвы характеризуются низкой обеспеченностью фосфором – от 0.76 до 1.09 мг/100 г. Снижение содержания фосфора является характерной особенностью ферраллитных почв, минеральная основа которых обогащена несиликатными соединениями железа и алюминия. Переход из растворимого состояния в нерастворимые соединения в почвах подвергаются не только почвенные фосфаты, но и фосфаты минеральных удобрений, вносимых под возделываемые культуры (10. Хисен, 2009). Содержание подвижного калия было очень низким и по профилю изменялось от 0.05 до 1.48 мг/100 г.

Эффективность возделывания сельскохозяйственных культур во многом определяется агрофизическими свойствами почв, результаты, исследования которых приведены в таблице 6.

Плотность по глубине почвенного профиля изменялась от 1.36 до 1.55 г/см³ и превышала оптимальные показатели. В почвенных горизонтах А₀, А и АВ с легкосуглинистым гранулометрическим составом до глубины 42 см плотность почвы находилась в пределах 1.36–1.47 г/см³; в почвенном горизонте В_м (42–68 см) со

среднесуглинистым гранулометрическим составом плотность увеличилась до 1.52 г/см^3 . Наиболее высокая плотность почвы отмечалась в горизонтах B_{tm} и C , где гранулометрический состав почвы представлен тяжелым суглинком и легкой глиной и изменялась от 1.53 до 1.55 г/см^3 . Эти данные свидетельствуют о необходимости разрыхления почвы и прежде всего верхних горизонтов (A_0 , A , AB).

Таблица 6. Агрофизические свойства красной ферраллитной почвы на начало исследований, май 2016 г.

Table 6. Agrophysical properties of Haplic Ferralsol at the beginning of research, May, 2016

Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см^3	Плотность твердой фазы, г/см^3	Пористость общая, %	Наименьшая влагоемкость, %	Максимальная гигроскопичность, влага, %	Влажность завядания, %
A_0	0–4	1.36	2.66	48.9	22.4	6.2	9.3
A	4–25	1.45	2.68	45.9	24.3	6.5	9.8
AB	25–42	1.47	2.69	45.4	25.7	6.7	10.1
B_m	42–68	1.52	2.71	44	26.9	6.9	10.4
B_{tm}	68–105	1.53	2.72	43.8	28.3	7.5	11.3
C	> 105	1.55	2.73	43.3	29.8	8.1	12.2

Плотность твердой фазы почвы по горизонтам изменялась в узких пределах – от 2.66 до 2.73 г/см^3 , и их значения в основном определялись минералогическим составом почвы. Тенденция некоторого увеличения плотности твердой фазы почвы с глубиной, по-видимому, связана с гранулометрическим составом.

Общая пористость почвы изменялась в зависимости от плотности почвы в пределах 43.3 – 48.9 %. Отмечена обратная корреляционная зависимость между общей пористостью и плотностью почвы. При этом отмечается, что с увеличением плотности

уменьшается общая пористость почвы. В целом общая пористость почвы даже в верхних почвенных горизонтах была ниже оптимальных значений (ниже 50 %). Близкие показатели к нижнему уровню оптимальной пористости наблюдались в горизонтах A_0 и A (0–25 см) – 48.9–45.9 %.

Наименьшая влагоемкость является важным показателем, характеризующим водные свойства почвы. По результатам исследований значения наименьшей влагоемкости почвенного профиля изменялись от 22.4 до 29.8 %. Для верхних горизонтов A_0 , A и AB , которые характеризуются легким гранулометрическим составом, она составляла 22.4–25.7 %. С утяжелением почвы по глубине до тяжелого суглинка и легкой глины значения наименьшей влагоемкости повышались до 28.3–29.8 %.

По профилю почвы с глубиной отмечалось увеличение значений МГ и ВЗ от 6.2 до 8.1 % и от 9.3 до 12.1 % соответственно. Увеличение этих показателей с глубиной почвенного профиля обусловлено утяжелением почв от легких суглинков до легкой глины.

Красные ферраллитные почвы имеют хорошую водопрочную мелкокомковатую структуру ([Дюшофур, 1970](#)), широко используются под различные культуры, в том числе и хлопчатник. Семена хлопчатника будут прорастать медленно, если температура почвы ниже 15 °С. При активном росте идеальная температура воздуха составляет 21–37 °С. Температура выше 37 °С нежелательна. Тем не менее, хлопчатник может выдерживать температуру до 43 °С в течение коротких периодов без значительного ущерба, но это также зависит от уровня влажности. Для того чтобы хлопчатник успешно созрел, нужно небольшое количество осадков во время созревания (летом) и в дни сбора урожая (осенью).

Красные ферраллитные почвы по своему составу и свойствам благоприятны для возделывания хлопчатника и широко используются в сельскохозяйственном производстве в зонах их распространения. Посевные площади под хлопчатником в Республике Чад составляют в настоящее время примерно 300 тыс. га. Хлопко-

водство является важным рычагом социально-экономического развития в Чаде ([Hauck, 1974](#); [Karpoff et al., 1973](#); [Maignien, 1959](#); [Carte Pédologique du Tchad, 1964](#)). Важное место в народном хозяйстве занимает хлопчатник как индустриальная культура с 1928 г. Хлопок обеспечивает налоговые поступления государству и существенные доходы для всех предприятий, имеющих деловые отношения с хлопковой компанией. В производственной зоне хлопок занимает ключевое место, поскольку он влияет на повседневную жизнь более 3 млн человек, или более 25 % населения страны, которые получают большую часть своего дохода от этой деятельности. Хлопок является одной из основных товарных культур в Республике Чад. Сельскохозяйственное предприятие Бекамба Котон-Чад (Мунду) (Coton-Chad), на территории которого были проведены данные почвенные изыскания, успешно специализируется в культивации хлопчатника ([Соколов, 1988](#); [Хисен, 2009](#)).

ВЫВОДЫ

1. Была проведена оценка состава и свойств красных ферраллитных почв Республики Чад.

2. Красные ферраллитные почвы имеют свои особенности. Они характеризуются красной окраской с более темным тоном поверхностного гумусово-аккумулятивного горизонта, большей общей мощностью почвенного профиля и постепенным переходом между генетическими горизонтами. Характерной чертой этих почв является их облегченный гранулометрический состав верхней части профиля (легкосуглинистый, с глубиной он утяжеляется до легкой глины).

3. Основу валового химического состава красных ферраллитных почв составляют кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий и натрий и вместе с кислородом достигают 99 % всей минеральной части. При этом наибольшая доля приходится на SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 , содержание которых по глубине почвенного профиля собственно изменяется в пределах 82.7–61.83 %, 3.50–6.40 % и 11.46–29.25 %. Емкость катионного обмена в профиле

почвы изменялась в пределах 6.6–11.1 смоль (экв)/кг. Среди обменных катионов кальций (Ca^{2+}) является определяющим.

4. Красные ферраллитные почвы характеризуются низкой обеспеченностью гумусом. В верхних почвенных слоях, до 42 см, его содержание изменялось в пределах 1.53–1.66 %. Почвы характеризуются кислой реакцией – от средне кислой в верхних горизонтах до очень сильно кислой в нижнем горизонте. Содержание подвижного фосфора в почвенном профиле характеризуется как низкое (от 0.76 до 1.09 мг/100 г), а подвижного калия – очень низкое (от 0.05 до 1.48 мг/100 г).

Плотность почвы с глубиной почвенного профиля увеличивалась от 1.36 до 1.55 г/см³. Что касается технологий возделывания хлопчатника, то для повышения производительности почв требуется проведение их разрыхления, прежде всего верхних почвенных горизонтов. Общая пористость почвы изменялась в пределах 43.3–48.9 %. Близкие показатели к нижнему уровню оптимальной пористости наблюдались в слое 0–25 см – 45.9–48.9 %. Наименьшая влагоемкость почвы изменялась от 22.4 до 29.8 %. Для легкого суглинка она составляла 22.4–25.7 %. С утяжелением почвы по глубине до тяжелого суглинка и легкой глины значения наименьшей влагоемкости повышались до 28.3–29.8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
2. *Дюшофур Ф.* Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970. 590 с.
3. *Ларешин В.Г., Шуравилин А.В.* Пути снижения деградации и современные технологии повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах субтропической и тропической зон. М.: РУДН, 2008. 263 с.
4. Почвенный справочник / Пер. с фр. *И.В. Ковда*, под ред. *М.И. Герасимовой*. Смоленск. “Ойкумена”, 2000. 286 с.
5. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М., 2004. 432 с.
6. *Розов Н.Н., Строганова М.Н.* Почвенный покров Мира. М.: Изд-во МГУ, 1979. 290 с.
7. *Сагоян Л.Ю.* Республика Чад: Справочник РАН. Ин-т Африки. М.: Наука, 1993. 150 с.
8. *Соколов И.А.* О генезисе тропических красных ферраллитных почв // Почвоведение. 1988. № 4. С. 492–506.

9. *Турсина Т.В., Соколов И.А.* Макро- и микроморфологическая диагностика генезиса ферраллитных тропических почв Лаоса // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2008. Вып. 62. С. 22–35. DOI: [10.19047/0136-1694-2008-62-22-35](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2008-62-22-35).
10. *ФАО.* Накормить мир, ликвидировать голод. Справочный документ для Всемирного саммита по продовольственной безопасности. Рим, 2009. 26 с.
11. *Хисен М.К.* Изменение физико-химических свойств красных ферраллитных почв Республики Чад в процессе окультуривания // Известия СПбГАУ. 2009. № 15. С. 11–16.
12. *Хисен М.К.* Кислотно-основные свойства красных ферраллитных почв Республики Чад // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Сб. научных трудов. СПб: СПбГАУ, 2009. С. 152–155.
13. *Хисен М.К., Чернов Д.В.* Сравнительная характеристика почв гумидных ландшафтов на различных корях выветривания на примере форм соединений железа // Известия СПбГАУ. 2010. № 19. С. 110–115.
14. *Хисен М.К.* Сравнительная характеристика почв гумидных ландшафтов на различных корях выветривания // Материалы Всероссийской научной конференции XIV Докучаевские молодежные чтения “Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов”. СПб: Изд-во СПбГУ, 2011. С. 96–97.
15. *Чернов Д.В., Хисен М.К., Плылова И.А.* Влияние окультуривания на содержание и состав гумуса в красных ферраллитных почвах Республики Чад // Гумус и почвообразование. СПбГАУ. 2009. С. 75–78.
16. *Чернов Д.В., Хисен М.К.* Содержание соединений алюминия в красных ферраллитных почвах Республики Чад // Известия СПбГАУ. 2010. № 21. С. 66–70.
17. *Alboucq A.M.* Esquisse hydrologique 1 : 1500000 (E 13°10'00" E 23° / N 15°30'00" – N 7°15'00") // ORSTOM. Paris, 1966.
18. *Allan W.* The African Husbandman. London: Oliver and Boyd, 1965. 503 p.
19. *Altieri M.A., Letourneau D.K., Davis J.R.* Developing sustainable agroecosystems // Bioscience. 1983. No. 33 (1). P. 45–49.
20. *Andriess J.P.* Nutrient level changes during a 20 year shifting cultivation cycle in Sarawak (Malaysia). Kuala Lumpur, 1977. 479 p.
21. *Arshad M.A.* Influence of the termite macrotermes michaelsoni (sjost) on soil fertility and vegetation in a semiarid savannah ecosystem // Agro-Ecosystems, 1982. No. 8. P. 47–58.
22. *Aubert G.* Influence de divers types de végétation sur les caractères de l'évolution des sols en région équatoriale et subéquatoriale. In Colloque “Sols et végétations des régions tropicales”. UNESCO. Abidjan, 1959. P. 41–45.

23. *Aubert G., Leneuf N.* Essai d'évaluation de la vitesse de ferrallitisation. 7th Intern. Congress Soc. of Soil Sc. Madison, 1960. 35 p.
24. *Aubert G., Tavernier R.* Soil Survey // Soil of the Humid Tropics. Natl. Acad. Sei. Washington. DC, 1972. P. 17–44.
25. *Aubert G., Segalen P.* Projet de classification des sols ferrallitiques // ORSTOM. 1986. 18 p.
26. *Bekayo N.D.* PROJET CHD/96/G3 1/B/IG/99. “Elaboration de la Stratégie Nationale et. Plan d'Action pour la Conservation de la Diversité Biologique”. Vol. Agropédologie. 1998. 18 p.
27. *Benneh G.* Systems of agriculture in tropical Africa // Economic Geography. 1972. No. 48 (3). P. 244–257.
28. *Boulande B.* Les formations bauxitiques lateritiques de Cote d'Ivoire. Les fades, leur transformation, leur distribution et revolution du modele // ORSTOM. Paris, 1984. 342 p.
29. *Boulvert Y.* Typologie sommaire des principaux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés en République Centrafricaine // ORSTOM. Série Pédologie. 1972. No. 10 (1). P. 59–75.
30. *Colin F.* Histoire des sols tropicaux. Precieux traceurs // Le journal de L'IRD. Sciences du sol. 2001. P. 3.
31. *Conklin H.C.* Hanunoo Agriculture: a report on an integral system of shifting cultivation in the Philippines // Forestry Development Paper. Rome: FAO, 1957. No. 12. P. 9–15.
32. *D'Hoore J.K.* Carte des soil d'Afrique anl: 500 000, 7 fenilles. Bruxelles, CCTA, 1963.
33. *Fosbrooke H.A.* Aspects socioéconomiques de la culture itinérante // L'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique. Bulletin pédologique de la FAO, Rome: FAO, 1974. No. 24. P. 144–150.
34. *Gliessman S.R.* Economic and ecological factors in designing and managing sustainable agroecosystems // Sustainable agriculture and integrated farming systems. East Lansing: Michigan State University Press, 1985. P. 56–63.
35. *Harrasovitz H.* Laterit, Material und Versutc erdgeschichtilncher Auswertung // Fortschr. Geol. Palaont. Berlin, 1926. No. 14. P. 253–566.
36. *Hauck F.* Introduction. In L'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique // Bulletin pédologique de la FAO. Rome: FAO, 1974. No. 24. P. 1–5.
37. *Karpoff A.M., Bocquier G., Isnard P., Tardy Y.* Géochimie d'une toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Utilisation des méthodes statistiques // Sci. Géol. Bull. Strasbourg, 1973. Vol. 26. No. 4. 315 p.

38. *Leneuf N.* L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés // ORSTOM. Thèse Fac. Sci. Paris, 1965. 210 p.
39. *Maignien R.* Soil cuirasses in tropical West Africa // *Soils Africa*. 1959. No. 4. P. 4–41.
40. *McGrath D.G.* The role of biomass in shifting cultivation // *Human Ecology*. 1987. No. 15(2). P. 221–242.
41. *Mohr E.C., van Varen F.A.* Tropical soils. London, 1954. 320 p.
42. *Nye P.H., Greenland D.J.* The Soil under Shifting Cultivation // *Technical Communication*. Harpenden, 1960. No. 51. 156 p.
43. *Nye P.H., Greenland D.J.* Changes in the soil after clearing tropical rainforest // *Plant and Soil*. 1964. No. 21. P. 101–112.
44. *Pias J.* Les sols du Tchad // ORSTOM. Collection de Référence. Paris, 1964. P. 145–151.
45. *Référentiel pédologique 2008*. Versailles: Éditions Quæ, 2009. 405 p.
46. *République du Tchad*. Carte Pédologique du Tchad. 1 : 1 000 000. Pias, J. // ORSTOM. 1964.
47. *Robequain Ch.* Études géologiques et pédologiques dans la cuvette du Tchad, In: *Annales de Géographie*. 1956. Vol. 65. No. 348. P. 151–153.
48. *Schwertmann U.* Some properties of soil and synthetic iron oxides // *Iron in soil and clay minerals*. Dordrecht: Reidel, 1988. P. 203–250.
49. *Tursina T., Sokolov I., Shishov L.* New hypothesis of the genesis of red ferrallitic soils // *Micromorphology*. Adelaide, 1992. 27 p.
50. *Stoops G.* (Ed.). Evolution of tropical soil science: past and future. Academie royale des past and future. Workshop Brussels, 2003. 157 p.
51. *World reference base for soil resources 2014*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. 203 p.

REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Chemical soil analysis guide), Moscow: Moscow State University, 1970, 487 p.
2. Dyushofur F., *Osnovy pochvovedeniya* (Fundamentals of soil science), Moscow: Progress, 1970, 590 p.
3. Lareshin V.G., Shuravilin A.V., *Puti snizheniya degradatsii i sovremennye tekhnologii povysheniya plodorodiya pochv v antropogennykh landshaftakh subtropicheskoy i tropicheskoy zon* (Ways to reduce soil degradation and modern technologies to increase soil fertility in anthropogenic landscapes of the subtropical and tropical zones), Moscow: RUDN, 2008, 263 p.

4. *Pochvennyy spravochnik* (Soil Handbook), I.V. Kovda (trans. from French), M.I. Gerasimova (Ed.), Smolensk. "Oykumena", 2000, 286 p.
5. Rozanov B.G., *Morfologiya pochv* (Soil morphology), Moscow, 2004, 432 p.
6. Rozov H.H., Stroganova M.N., *Pochvennyy pokrov Mira* (Soil cover of the World), Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1979, 290 p.
7. Sagoyan L.Yu., Respublika Chad, In: *Spravochnik RAN. In-t Afriki* (Republic of Chad, In: *A book of reference of the RAS. Institute of Africa*), Moscow: Nauka, 1993, 150 p.
8. Sokolov I.A., O genezise tropicheskikh krasnykh ferrallitnykh pochv (On the genesis of tropical red ferrallite soils), *Pochvovedenie*, 1988, No. 4, pp. 492–506.
9. Tursina T.V., Sokolov I.A., Macro- and micromorphological diagnostics of the genesis of tropical ferrallite soils of Laos, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2008, Iss. 62, pp. 22–35, DOI: [10.19047/0136-1694-2008-62-22-35](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2008-62-22-35).
10. *FAO*, Technical papers from the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, Rome, 2009, 26 p.
11. Khisen M.K., Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv krasnykh ferrallitnykh pochv Respubliki Chad v protsesse okul'turivaniya (Change of physico-chemical properties of red ferrallite soils of the Republic of Chad in the process of cultivation), *Izvestiya SPbGAU*, 2009, No. 15, pp. 11–16.
12. Khisen M.K., Kislотно-osnovnye svoystva krasnykh ferrallitnykh pochv Respubliki Chad (Acid-basic properties of red ferrallite soils of the Republic of Chad), *Scientific support for the development of the agro-industrial complex under the conditions of reformation*, St. Petersburg: SPbGAU, 2009, pp. 152–155.
13. Khisen M.K., Sravnitel'naya kharakteristika pochv gumidnykh landshaftov na razlichnykh korakh vyvetrivaniya (Comparative characteristics of the soils of humid landscapes on various weathering crusts), *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii XIV Dokuchaevskie molodezhnye chteniya "Pochvy v usloviyakh prirodnykh i antropogennykh stressov"* (Proc. All-Russ. Conf. XIV Dokuchaev Youth Readings "Soils under Natural and Anthropogenic Stresses"), St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 2011, pp. 96–97.
14. Khisen M.K., Chernov D.V., Sravnitel'naya kharakteristika pochv gumidnykh landshaftov na razlichnykh korakh vyvetrivaniya na primere form soedineniy zheleza (Comparative characteristics of the soils of humid landscapes on different weathering crusts using iron compounds as an example), *Izvestiya SPbGAU*, 2010, No. 19, pp. 110–115.
15. Chernov D.V., Khisen M.K., Plylova I.A., Vliyanie okul'turivaniya na sodержanie i sostav gumusa v krasnykh ferrallitnykh pochvakh Respubliki

Chad (The influence of cultivation on the content and composition of humus in red ferrallite soils of the Republic of Chad), *Gumus i pochvoobrazovanie*, 2009, pp. 75–78.

16. Chernov D.V., Khisen M.K., Soderzhanie soedineniy alyuminiya v krasnykh ferrallitnykh pochvakh Respubliki Chad (The content of aluminum compounds in red ferrallitic soils of the Republic of Chad), *Izvestiya SPbGAU*, 2010, No. 21, pp. 66–70.

17. Alboucq A.M., Esquisse hydrologique 1 : 1500000 (E 13°10'00" E 23° ; N 15°30'00" – N 7°15'00"), *ORSTOM*, Paris, 1966.

18. Allan W., *The African Husbandman*, London: Oliver and Boyd, 1965, 503 p.

19. Altieri M.A., Letourneau D.K., Davis J.R., Developing sustainable agroecosystems, *Bioscience*, 1983, No. 33 (1), pp. 45–49.

20. Andriessse J.P., *Nutrient level changes during a 20 year shifting cultivation cycle in Sarawak (Malaysia)*, Kuala Lumpur, 1977, 479 p.

21. Arshad M.A., Influence of the termite macrotermes michaelsoni (sjost) on soil fertility and vegetation in a semiarid savannah ecosystem, *Agro-Ecosystems*, 1982, No. 8, pp. 47–58.

22. Aubert G., Influence de divers types de végétation sur les caractères de l'évolution des sols en région équatoriale et subéquatoriale, In: *Colloque "Sols et végétations des régions tropicales"*, UNESCO, Abidjan, 1959, pp. 41–45.

23. Aubert G., Leneuf N., Essai d'évaluation de la vitesse de ferrallitisation, 7th *Intern. Congress Soc. of Soil Sc.*, Madison, 1960, 35 p.

24. Aubert G., Tavernier R., Soil Survey, *Soil of the Humid Tropics*, Natl. Acad. Sei., Washington DC, 1972, pp. 17–44.

25. Aubert G., Segalen P., Projet de classification des sols ferrallitiques, *ORSTOM*, 1986, 18 p.

26. Bekayo N.D., PROJET CHD/96/G3 1/B/IG/99, "Elaboration de la Stratégie Nationale et. Plan d'Action pour la Conservation de la Diversité Biologique", Vol. Agropédologie, 1998, 18 p.

27. Benneh G., Systems of agriculture in tropical Africa, *Economic Geography*, 1972, No. 48 (3), pp. 244–257.

28. Boulange B., Les formations bauxitiques lateritiques de Cote d'Ivoire. Les fades, leur transformation, leur distribution et revolution du modele, *ORSTOM*, Paris, 1984, 342 p.

29. Boulvert Y., Typologie sommaire des principaux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés en République Centrafricaine, *ORSTOM*, Série Pédologie, 1972, No. 10 (1), pp. 59–75.

30. Colin F., Histoire des sols tropicaux. Precieux traceurs, *Le journal de L'IR. Sciences du sol*, 2001, p. 3.

31. Conklin H.C., Hanunoo Agriculture: a report on an integral system of shifting cultivation in the Philippines, *Forestry Development Paper*, Rome: FAO, 1957, No. 12, pp. 9–15.
32. D'Hoore J.K., *Carte des soil d'Afrique anl: 500 000*, 7 fenilles, Bruxelles, CCTA, 1963.
33. Fosbrooke H.A., Aspects socioéconomiques de la culture itinérante, L'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique, *Bulletin pédologique de la FAO*, Rome: FAO, 1974, No. 24, pp. 144–150.
34. Gliessman S.R., Economic and ecological factors in designing and managing sustainable agroecosystems, *Sustainable agriculture and integrated farming systems*, East Lansing: Michigan State University Press, 1985, pp. 56–63.
35. Harrasovitz H., Laterit, Material und Versutc erdgeschichtilncher Auswertung, *Fortschr. Geol. Palaont.*, Berlin, 1926, No. 14, pp. 253–566.
36. Hauck F., Introduction, In: *L'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique*, *Bulletin pédologique de la FAO*, Rome: FAO, 1974, No. 24, pp. 1–5.
37. Karpoff A.M., Bocquier G., Isnard P., Tardy Y., Géochimie d'une toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Utilisation des méthodes statistiques, *Sci. Géol. Bull.*, Strasbourg, 1973, Vol. 26, No. 4, 315 p.
38. Leneuf N., L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont derives, *ORSTOM, Thèse Fac. Sci.*, Paris, 1965, 210 p.
39. Maignien R., Soil cuirasses in tropical West Africa, *Soils Africa*, 1959, No. 4, pp. 4–41.
40. McGrath D.G., The role of biomass in shifting cultivation, *Human Ecology*, 1987, No. 15 (2), pp. 221–242.
41. Mohr E.C., van Varen F.A., *Tropical soils*, London, 1954, 320 p.
42. Nye P.H., Greenland D.J., The Soil under Shifting Cultivation, *Technical Communication. Harpenden*, 1960, No. 51, 156 p.
43. Nye P.H., Greenland D.J., Changes in the soil after clearing tropical rainforest, *Plant and Soil*, 1964, No. 21, pp. 101–112.
44. Pias J., Les sols du Tchad, *ORSTOM*, Collection de Référence, Paris, 1964, pp. 145–151.
45. *Référentiel pédologique 2008*, Versailles: Éditions Quæ, 2009, 405 p.
46. République du Tchad. Carte Pédologique du Tchad 1 : 1 000 000, Pias J., *ORSTOM*, 1964.
47. Robequain Ch., Études géologiques et pédologiques dans la cuvette du Tchad, In: *Annales de Géographie*, 1956, Vol. 65, No. 348, pp. 151–153.
48. Schwertmann U., Some properties of soil and syntetic iron oxides, *Iron in soil and clay minerals*, Dordrecht: Reidel, 1988, pp. 203–250.

49. Tursina T., Sokolov I., Shishov L., New hypothesis of the genesis of red ferrallitic soils, *Micromorphology*, Adelaide, 1992, 27 p.
50. Stoops G. (Ed.), Evolution of tropical soil science: past and future, Academie royale des past and future, Workshop Brussels, 2003, 157 p.
51. *World reference base for soil resources 2014*, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, Update 2015, 203 p.