

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.481

### ИНДИКАТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРАСНОЦВЕТНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ ЗАПОВЕДНИКА МЫС МАРТЬЯН, ЮЖНЫЙ КРЫМ<sup>1</sup>

© 2021 г. Н. В. Агаджанова<sup>а</sup>, Ю. Г. Изосимова<sup>а</sup>, И. В. Костенко<sup>б</sup>, П. В. Красильников<sup>а, с, \*</sup>

<sup>а</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, стр. 12, Москва, 119991 Россия

<sup>б</sup>Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, пгт Никита, 298648 Республика Крым

<sup>с</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, 185910 Россия

\*e-mail: krasilnikov@soil.msu.ru

Поступила в редакцию 01.07.2020 г.

После доработки 08.07.2020 г.

Принята к публикации 12.07.2020 г.

На территории заповедника Мыс Мартьян, расположенного на южном берегу Крыма, присутствуют своеобразные красноцветные глинистые почвы на элювии известняков, которые традиционно ассоциируются со средиземноморскими *terra rossa*. На фоне хорошей изученности подобных почв существует ряд открытых вопросов, связанных с генезисом красноцветных почв мыса Мартьян. Многими исследователями они рассматриваются как поверхностные палеопочвы, в которых записаны как признаки, сформировавшиеся в предшествующие эпохи, так и признаки современных процессов. На основании анализа физических и химических свойств красноцветных почв, состава их илистой фракции и микроморфологического строения показано, что практически все почвообразовательные процессы, за исключением многовекового растворения известковых пород и рубификации остаточной силикатной глины, выражены слабо, что связано с низкой сенсорностью глинистой породы компактного сложения. В профилях практически отсутствуют признаки, позволяющие говорить о том, что в прошлом педогенез отличался от современного, что согласуется с данными об относительной стабильности климата на изученной территории, начиная с плейсцена. Изученные профили могут рассматриваться как ветусоли – древние почвы, развивающиеся в относительно постоянных биоклиматических условиях.

*Ключевые слова:* *terra rossa*, ветусоль, поверхностная палеопочва, микроморфология, глинистая минералогия

DOI: 10.31857/S0032180X21010020

#### ВВЕДЕНИЕ

Еще первые исследователи красноцветных почв Южного берега Крыма отмечали их сходство с широко распространенными в Средиземноморье и во многих других субтропических и тропических областях мира *terra rossa* – глинистыми почвами красного или красновато-бурого цвета, залегающими на известняковых породах [8, 24]. Происхождение красноцветных почв на известняках является дискуссионным: одни исследователи считают, что материал *terra rossa* представляет собой остаточную фазу, образовавшуюся при растворении карбонатных пород [8, 28, 32, 35, 36], другие же предполагают, что имеет место перекрытие известняковых пород аллохтонным глинистым материалом. В последнем случае предполагалось,

например [10], что накопление глинистого материала происходило после выхода карбонатных осадочных пород на сушу, в ходе размыва и перетолжения на поверхности известняков продуктов разрушения древних красноцветных кор выветривания силикатных пород. Хотя последняя гипотеза давно не рассматривается для объяснения происхождения *terra rossa* [37], многие исследователи указывают на вклад в формирование глинистой толщи делювиальных наносов [9], эоловых отложений [31, 34, 42, 44] и вулканического пепла [38, 39].

При относительном единодушии по поводу происхождения красноцветных почв, есть расхождения в оценке характерного времени их формирования и степени соответствия их профиля современным биоклиматическим условиям. Часть исследователей рассматривает *terra rossa* как относительно недавние образования, находящиеся в

<sup>1</sup> Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0032180X21010020 для авторизованных пользователей.

равновесии с современными биоклиматическими условиями. Например, Прасолов и Антипов-Каратаев [24] полагали, что *terra rossa* — продукт современного растворения и выветривания известняка, при этом они не исключают вклада гидротермальных процессов. Глазовская и Парфенова [9] также считали, что крымские красноцветные *terra rossa* формируются в современных климатических и геоморфологических условиях; аналогичных взглядов придерживался Кочкин и соавт. [18]. По данным Бронгера и Брюн-Лобин [28], подобные почвы в Марокко имеют плейстоценовый возраст. Согласно Дзенс-Литовской (цит. по [3]), *terra rossa* появляются в миоцене третичных отложений, во время чередования сухих жарких и влажных теплых периодов. Дюшофур [12] считал, что *terra rossa* образовались в тропическом климате, более жарком, чем современный средиземноморский с контрастными сезонами. Следует учитывать, что в настоящее время даже сторонники современного происхождения *terra rossa* не считают, что формирование остаточных красноцветных глин при растворении известняка произошло в голоцене; очевидно, что этот процесс занимает намного больше времени. За нуль-момент почвообразования принимается стабилизация поверхности, после которой началось формирование почвенного профиля с выраженными горизонтами. Исходя из того, что на южном побережье Крыма поверхности относительно стабильны, начиная с плейстоцена [29], некоторые исследователи предположили, что в профиле могут присутствовать признаки как современных, так и реликтовых почвообразовательных процессов. Например, Макаров [20], а вслед за ним Ковалева и соавторы [15] разделяют почвообразовательные процессы в красноцветных почвах Крыма на современные и древние. Соответственно существует две гипотезы эволюции красноцветных почв *terra rossa*: по одной из них красноцветные почвы на известняках моногенетичны, по другой же они представляют собой поверхностные палеопочвы, которые отражают флуктуации биоклиматических условий почвообразования, начиная, как минимум, с плейстоцена. Гипотеза о моногенетичном происхождении красноцветных почв конкретно мыса Мартьян предполагает также определенную поливариантность почвенной эволюции. Например, это могут быть относительно молодые почвы на поверхностях, подвергшихся денудации в течение голоцена. Другой сценарий — это формирование почв в течение длительного времени в условиях относительно стабильного климата; в этом случае почвенный материал будет иметь признаки, соответствующие современным процессам, однако выраженные намного ярче за счет длительности формирования. Подобные древние почвы, формирующиеся в стабильных условиях, получили введенное Кремачи и закрепившееся в

палеогеографической литературе название вету-солей (*vetusols* — старые почвы, см. русское “ветошь”) [30], в отличие от палеопочв (*paleosols*), которые несут признаки почвообразования в условиях, существенно отличающихся от современных.

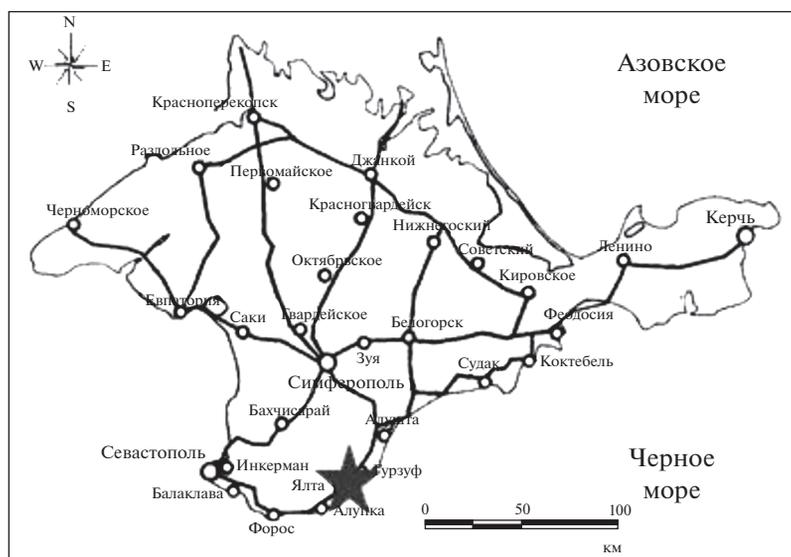
В данной работе на основании анализа микроморфологического строения, химического и минералогического состава двух профилей красноцветных глинистых почв заповедника Мыс Мартьян на Южном берегу Крыма мы оценили степень развития почвообразовательных процессов в своеобразных почвах *terra rossa*. Также мы попытались выяснить, насколько возможно объяснить присутствие разнообразных признаков — индикаторов почвообразовательных процессов в данных почвах в рамках гипотезы моногенетичной эволюции.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами изучения являются почвы заповедника “Мыс Мартьян” (Крымский п-ов), который является структурным подразделением Никитского ботанического сада, одного из старейших ботанических садов, основанного в 1812 г. возле поселка Никита, между г. Ялта и г. Алушта [5, 22] (рис. 1). Заповедник был создан в 1973 г., его площадь составляет 240 га, из них 120 га — наземная территория, 120 га — прилегающая к ней акватория Черного моря [21]. Изучаемый участок находится в пределах южного макросклона Главной гряды Крымских гор, у подножия Никитского хребта, расположенного перпендикулярно береговой линии и разделяющего Ялтинский и Гурзуфский амфитеатры [14, 16]. Средняя крутизна склонов хребта — 18°, в нижней части — 12°, что препятствует накоплению продуктов выветривания горных пород на месте их образования [16].

Горный Крым сложен мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Наиболее древними из них являются верхнетриасовые и нижнеюрские отложения таврической серии. Также распространены средне- и верхнеюрские, ниже- и верхнемеловые, палеогеновые песчано-глинистые породы. Выше залегают среднеюрские глинистые сланцы, песчаники и верхнеюрские плотные известняки [17, 23]. Никитский хребет представляет собой известковый массив, сложенный в нижней части массандровскими отложениями — элюво-делювием известняка — щебнистыми отложениями и известковыми брекчиями [1, 14, 16].

Климат Южного берега Крыма (**ЮБК**) — средиземноморский, засушливый, жаркий, с умеренно теплой зимой [23]. Среднегодовая температура воздуха составляет 13.0°C, средняя температура самого теплого месяца — июля 23.6°C, средняя температура февраля, наиболее холодного месяца — 3.7°C. Сумма активных темпера-



Годовой ход температуры воздуха и сумм осадков  
на ЮБК

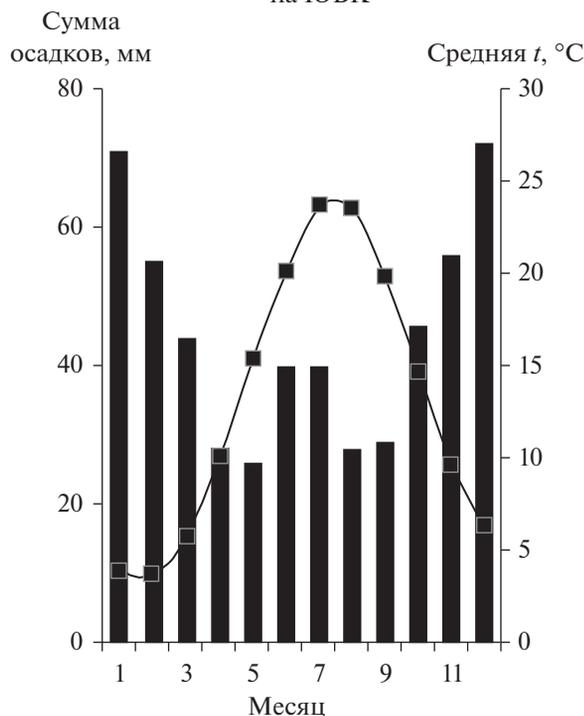


Рис. 1. Расположение объектов исследований и климатограмма (столбчатая диаграмма – осадки, кривая – температуры).

тур составляет  $3830^{\circ}\text{C}$ , годовая сумма осадков – 535 мм [2]. Естественная растительность нижней части южного склона (до 350–400) представлена типичной средиземноморской ассоциацией, так называемым южным шибляком – низкоствольными можжевело-дубовыми лесами, включающими вечнозеленые и листопадные породы: скумпию (*Cotinus coggygria* Scop.), пушистый дуб (*Quercus pubescens* Willd), земляничное дерево

(*Arbutus andrachne* L.) и древовидный можжевельник (*Juniperus excelsa* M. Bieb), а также кустарники, такие как иглица (*Ruscus aculeatus* L.), фисташка (*Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey.), грабинник (*Carpinus orientalis* Mill.), держи-дерево (*Paliurus spina-christi* Mill.) и шиповник (*Rosa canina* L.) [11, 13, 14, 16]. Почвы заповедника “Мыс Мартыан” представляют собой красноцветные глинистые *terra rossa* разной глубины и щебнисто-

сти, которые условно можно отнести к “коричневым красноцветным” почвам [5, 16].

На территории заповедника “Мыс Мартъян” были заложены два почвенных профиля. Профиль МАР-1 расположен на пологом склоне ~10° юго-восточной экспозиции. Форма склона прямая или немного выпуклая. Микрорельеф: небольшие приствольные повышения, куртины трав и кустарников. Растительность: в древесном ярусе – дуб пушистый (*Q. pubescens* Willd), граб восточный (*Carpinus orientalis* Mill.), можжевельник высокий (*J. excelsa* M. Bieb), рябина крупноплодная (*Sorbus domestica* L.), ясень узколистный (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), кизил обыкновенный (*Cornus mas* L.); кустарниковый ярус – иглица понтийская (*R. aculeatus* L.), можжевельник колючий или красный (*J. oxycedrus* L.), володушка ясенниковая (*Bupleurum asperuloides* Heldr. ex Boiss), ладанник крымский (*Cistus tauricus* C. Presl.), плющ обыкновенный (*Hedera helix* L.); травяной ярус – типчак или овсяница скальная (*Festuca rupicola* Neuff.), проективное покрытие 60%.

Разрез МАР-2 расположен ниже по склону, примерно в 150 м от МАР-1. Экспозиция южная. Разрез заложен в небольшой ложбине, за счет чего имеется избыточное увлажнение, выраженное в растительном покрове и морфологии почвы. Растительность: древесный ярус – дуб пушистый (*Q. pubescens* Willd), граб восточный (*C. orientalis* Mill.), можжевельник высокий (*J. excelsa* M. Bieb), рябина крупноплодная (*S. domestica* L.), кизил обыкновенный (*C. mas* L.); кустарниковая – можжевельник колючий или красный (*J. oxycedrus* L.) иглица понтийская (*R. aculeatus* L.), плющ обыкновенный (*H. helix* L.); травяной покров – осока заостренная (*Carex cuspidata* Host). Разрез МАР-2 по растительному покрову отличается от МАР-1 более плотным проективным покрытием, достигающим 90%, главным образом, за счет густой иглицы, и присутствием осоки.

Было произведено морфологическое описание разрезов и отобраны образцы из 11 горизонтов для определения физических свойств и химического состава, а также для выделения илистой фракции. Отдельно отбирали образцы ненарушенного строения для изготовления плоско-параллельных шлифов. После высушивания нарушенных образцов они были растерты и пропущены через сито 1 мм. Содержание ила (<0.001 мм) и физической глины (<0.01 мм) определяли методом пипетки. Водный рН почвы был измерен потенциометрически в почвенной суспензии в соотношении почва : вода 1 : 2.5. Было определено валовое содержание элементов на сухую навеску, при этом Si, Na, K, P и Ti извлекали смесью, состоящей из концентрированной HNO<sub>3</sub> и 46% HF, а Al, Ca, Fe, Mg и Mn – царской водкой. Содержание элементов в вытяжках определяли на при-

боре ICP-OES Agilent 5110. Анализ образцов для определения общего содержания углерода проводили на приборе TOC Analyzer, состоящем из приставки SSM-5000A и анализатора TOC фирмы SHIMADZU. Газоволюметрическим методом было определено содержание карбонатов, пересчитанное затем на неорганический углерод, а содержание органического углерода находили по разности между общим и неорганическим. Содержание несиликатного Fe было определено по методу Мера–Джексона, содержание слабоокисленного оксалаторастворимого Fe – по методу Тамма. Концентрацию Fe в растворе измеряли на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA-300 производства Analytic Jena.

Для проведения рентгендифрактометрического анализа образец почв обрабатывался 8–9% раствором уксусной кислоты, после этого удалялись несиликатные соединения железа по методу Мера и Джексона, затем отмучивался в водном растворе и насыщался кальцием из 1 М раствора CaCl<sub>2</sub>. Дифракционные картины от ориентированных препаратов получали на модернизированном приборе ДРОН-3, используя CuK<sub>α</sub>-излучение, фильтрованное Ni, и напряжение и силу тока в трубке 35 кВ и 20 мА соответственно. Съемку проводили в диапазоне от 2° до 32° с шагом 0.05° 2θ. Исследовали образцы в воздушно-сухом состоянии, насыщенные глицерином и прокаленные при 350 и 550°C в течение двух часов. Рентгендифрактограммы обработаны в программах WinScaller 3.0 и FullProf Suite. Содержание каолинита в сумме с хлоритом, иллита и минералов с лабильной решеткой рассчитывали по модифицированной методике Корнблюма [25]. Также проводили микроскопические исследования плоскопараллельных шлифов в проходящем и отраженном свете с помощью оптического поляризационного микроскопа Nikon E200 Pol и фотографирование камерой Olympus C4000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Морфологическое строение.** Морфологическое описание почвенных разрезов приводится в табл. 1. Оба профиля характеризуются глинистым гранулометрическим составом, хорошо выраженной структурой и красноватыми оттенками по всему профилю. Отмечается определяемое органолептически утяжеление гранулометрического состава в срединных горизонтах обоих профилей. Начиная с 35–40 см, в обеих почвах присутствуют тонкие глинистые кутаны по границам структурных отдельностей, по порам и корневым ходам. В нижних горизонтах обоих разрезов содержится дресва, реже щебень известняка. Некоторые фрагменты известняка выветрены и имеют облик карбонатных примазок.

Таблица 1. Морфологическое описание почвенных разрезов заповедника “Мыс Мартьян”

Горизонт, глубина, см	Описание
MAP-1. Endocalcaric Chromic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)	
O, 0–3(4)	Подстилка фрагментарная, неравномерной мощности, низкая степень разложения растительных остатков, однако присутствуют и средне- и хорошо разложенные фрагменты, сухая
A, 3–7(10)	Сухой, темно-серый (2.5YR 3/2), рыхлый, глинистый, структура прочная крупнозернистая, бусовидная по корням, трещиноватый, твердый, обильные гифы грибов, граница волнистая, переход ясный
AB, 7(10)–20	Сухой, окраска неоднородная: желтовато-красный (5YR 4/6) и темно-серый (2.5YR 3/2), глинистый, структура крупноореховатая, многоуровневая, плотный, очень твердый, гумусовые затеки, граница карманная, переход заметный
Bw, 20–35(40)	Свежий, красновато-бурый (5YR 4/4), тяжелоглинистый, структура прочная ореховатая, твердый, есть остатки корней, живые корни кустарников и деревьев, углистые частицы, единичные включения дресвы и щебня (известняк), граница волнистая, переход заметный по структуре
Bt1, 35(40)–60(70)	Сухой, красновато-бурый (2.5YR 4/4), среднеглинистый, структура ореховато-призматическая, плотный, твердый, глинистые кутаны на гранях структурных отдельностей, редкие корни, щебнистый, переход заметный по плотности, твердости, структуре, цвету
Bt2, 60(70)–90(95)	Темно-красновато-бурый (5YR 3/4), глинистый, призматическая к крупноглыбистой многоуровневая структура, плотный и твердый, остаточные карбонаты, местами в форме карбонатных примазок, глинистые кутаны по граням отдельностей, хорошо выражены, переход по плотности, твердости, большому количеству карбонатных новообразований, граница волнистая
BCk 90(95)–160	Свежий, интенсивно-бурый (7.5YR 4/6), на срезе педов – желтовато-красный (5YR 4/6), легкоглинистый, структура глыбистая, твердый, плотный, включения карбонатов, местами в виде мягких примазок, карбонатные прожилки, слабо вскипает, единичные живые и отмершие корни
MAP-2. Endocalcaric Chromic Endostagnic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)	
O, 0–0.5(5)	Слабая, фрагментарная, поверхность покрыта опадом иглицы понтийской почти полностью, состоит из слабо- и среднеразложившихся фрагментов растительных тканей
A, 0.5(5)–10	Свежий, окраска однородная, темно-красновато-бурый (2.5YR 3/2), легкоглинистый, комковато-зернистая структура, по корням бусовидная, рыхлый, рассыпчатый, много корней, белые гифы грибов, граница карманная, переход по цвету, количеству корней и растительных остатков, структуре
AB, 10–20(25)	Свежий к влажному, красновато-бурый (5YR 5/3), более темный красновато-бурый (5YR4/4) по трещинам (затеки гумуса), блестящие желтовато-красные (5YR 4/6) грани агрегатов, среднеглинистый, уплотненный, трещиноватый, много корней деревьев и кустарников, граница волнистая, переход заметный по плотности и структуре
Bw, 20(25)–40	Влажный, желтовато-красный (5YR 4/6), тяжелоглинистый, прочная крупноореховатая структура, плотный, твердый, трещиноватый, средние и крупные корни диаметром до 7 см, растительные остатки по корням, граница карманная, переход заметный по плотности и структуре
Bt, 40–70(80)	Влажный, желтовато-красный (5YR 4/6), темно-бурые (7.5YR 3/4) хорошо выраженные кутаны, красновато-черные (10R 2.5/1) марганцевые пленки, глинистый, трещиноватый, разламывается на отдельные глыбы, агрегаты крупные, плотный, твердый, единичные фрагменты остаточных карбонатов, частью в виде примазок, граница волнистая, переход постепенный
Btg, 70(80)–120	Влажный, окрашен пестро, основной фон желтовато-красный (5YR 4/6), локально в нижней части красновато-черные (10R2.5/1) марганцевые пленки, глинистый, структура крупноглыбистая, плотный, твердый, присутствует карбонатный мелкозем, фрагменты сланца, редкие глинистые кутаны, оглеение по стагниковому типу – осветление по трещинам и граням структурных отдельностей

**Таблица 2.** Физические и химические свойства красноцветных почв заповедника “Мыс Мартьян”

Горизонт, глубина, см	pH	C <sub>орг</sub> , %	Fe <sub>d</sub> , %*	Fe <sub>o</sub> , %*	CaCO <sub>3</sub> , %	<0.001 мм, %	<0.01 мм, %
МАР-1. Endocalcaric Chromic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)							
A, 3-7(10)	7.37	3.79	2.17	0.43	—	46.7	74.3
AB, 7(10)–20	6.70	2.76	2.45	0.58	—	50.0	81.9
Bw, 20–35(40)	7.66	0.70	2.78	0.51	—	56.2	81.3
Bt1, 35(40)–60(70)	7.59	0.11	2.78	0.48	—	54.5	78.6
Bt2, 60(70)–90(95)	8.23	0.27	2.38	0.38	5.56	46.5	76.1
BCk, 90(95)–160	8.46	0.01	2.13	0.35	9.53	43.7	72.8
МАР-2. Endocalcaric Chromic Endostagnic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)							
A, 0.5(5)–10	7.72	4.16	2.27	0.41	—	Не опр.	
AB, 10–20(25)	7.27	2.03	2.76	0.57	—	"	
Bw, 20(25)–40	6.89	0.60	2.53	0.64	—	"	
Bt, 40–70(80)	7.39	0.42	2.56	0.59	—	"	
Btg, 70(80)–120	7.59	0.02	3.19	0.73	0.24	"	

\* Fe<sub>o</sub> – железо, извлекаемое кислой оксалатной вытяжкой по Тамму; Fe<sub>d</sub> – железо, извлекаемое дитионит-цитрат-бикарбонатной вытяжкой по Мера–Джексону.

В более влажном профиле МАР-2 с глубины 70 см отмечаются признаки оглеения за счет застоя атмосферной влаги, которое выражается в осветлении поверхности педов и присутствии марганцевых пленок, затеков и примазок.

**Физические и химические свойства.** Гранулометрический состав и некоторые химические свойства изученных почв приводятся в табл. 2. По классификации Качинского, основанной на содержании физической глины (<0.01 мм), гранулометрический состав горизонтов АВ и Вw в профиле МАР-1 относится к тяжелой глине, во всех остальных – к средней глине. В международной системе [33] все горизонты попадают по гранулометрическому составу в категорию глинистых. Максимальное содержание илистой фракции обнаруживается в горизонте Вw на глубине 20–40 см от поверхности.

Значения pH водной вытяжки варьируют в пределах от 6.70 до 8.46. Минимальные значения pH наблюдаются в горизонтах АВ и Вw, на глубинах 10–40 см, а максимальные, в нижних горизонтах, где присутствуют остаточные карбонаты кальция. В профиле МАР-1 карбонаты присутствуют в определяемых аналитически количествах с глубины 60 см; их содержание превышает 9% в горизонте ВСк. В профиле МАР-2, более влажном, остаточные карбонаты присутствуют с глубины 70 см в существенно меньших количествах. Содержание C<sub>орг</sub> в верхних горизонтах вы-

сокое, более 4%, с глубиной его процентное содержание постепенно уменьшается.

Содержание несиликатного железа, извлекаемого дитионит-цитрат-бикарбонатом натрия, превышает 2% во всех горизонтах обоих разрезов, и распределяется достаточно равномерно по профилю. Отмечены незначительные максимумы в срединных горизонтах обоих профилей и несколько более выраженный максимум в оглеенном нижнем горизонте профиля МАР-2. Сходное распределение наблюдается в распределении слабоокристаллизованного железа, извлекаемого кислым оксалатным буфером, но его абсолютное содержание ниже, чем у несиликатного железа, а максимумы в срединных горизонтах не вполне совпадают: в разрезе МАР-1 максимум слабоокристаллизованного железа несколько выше по профилю, чем у несиликатного, а в профиле МАР-2 – несколько ниже.

Валовой состав мелкозема соответствует в большой степени составу окружающих силикатных осадочных пород, сланцев и филлитов (табл. 3). Содержание кремния в бескарбонатных горизонтах варьирует от 56 до 62%, алюминия – от 25 до почти 30%, железа – от 6.6 до 7.9%. Относительно стабильное содержание титана во всех горизонтах, кроме богатых карбонатами, указывает на однородность толщи осадков. Содержание кальция высокое в карбонатных горизонтах профиля МАР-1 и в поверхностных горизонтах А; последнее может быть связано как с биогенным накоплением,

**Таблица 3.** Валовой химический состав мелкозема из горизонтов почв заповедника “Мыс Мартьян”, % на сухую навеску

Горизонт, глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>
MAP-1. Endocalcaric Chromic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)										
A, 3–7(10)	59.40	26.78	7.08	2.18	1.24	1.65	0.45	1.01	0.07	0.14
AB, 7(10)–20	59.42	27.55	7.66	1.11	1.25	1.47	0.42	1.01	0.04	0.07
Bw, 20–35(40)	61.06	25.09	7.87	1.51	1.28	1.56	0.42	1.02	0.05	0.14
Bt1, 35(40)–60(70)	55.95	29.88	7.79	1.75	1.46	1.57	0.44	0.99	0.04	0.13
Bt2, 60(70)–90(95)	56.00	27.29	6.92	5.22	1.38	1.59	0.53	0.90	0.05	0.13
BCk, 90(95)–160	55.00	25.35	6.41	8.32	1.26	1.96	0.66	0.88	0.05	0.12
MAP-2. Endocalcaric Chromic Endostagnic Luvisol (Clayic, Cutanic, Humic)										
A, 0.5(5)–10	62.31	23.81	6.64	2.26	1.20	1.77	0.61	1.05	0.08	0.27
AB, 10–20(25)	57.52	28.75	7.50	1.08	1.30	1.99	0.61	1.02	0.05	0.16
Bw, 20(25)–40	58.32	28.14	7.65	1.05	1.30	1.80	0.53	1.05	0.04	0.12
Bt, 40–70(80)	57.01	29.28	7.77	1.14	1.31	1.85	0.50	1.00	0.04	0.10
Btg, 70(80)–120	59.44	26.89	7.68	1.34	1.36	1.63	0.51	0.97	0.03	0.14

так и с привнесом карбонатного мелкозема на поверхность почвы потоками дождевой воды, размывающей выходы карбонатных пород выше по склону.

**Минералогический состав илистой фракции.** В составе илистой фракции исследованных почв во всех генетических горизонтах обнаружены иллит, каолинит и смешанослойные минералы. Кроме глинистых минералов, в илистой фракции горизонтов AB, Bt1 и Bk профиля MAP-1 и в горизонтах Bw, Bt1 и Bt2 профиля MAP-2 присутствуют карбонаты. Во всех горизонтах обеих почв в составе ила в незначительных количествах обнаружен тонкодисперсный кварц (рис. 2).

Смешанослойные минералы в обеих почвах представлены хлорит-сметитом и, возможно, иллит-сметитом. Дискретной фазы хлорита ни в одном из горизонтов исследованных почв не обнаружено. В горизонтах Bt2 и Bk профиля MAP-1 на рентгенограммах образцов, насыщенных глицерином присутствуют отражения, соответствующие межплоскостному расстоянию 1.7–1.8 нм, что может свидетельствовать о присутствии в образце либо дискретной фазы смектита, либо смешанослойных минералов с большой долей смектитовых слоев. На рентгенограммах остальных образцов после насыщения глицерином наблюдается диффузное рассеяние в сторону малых углов в диапазоне 2°–6°. Характер диффузного рас-

сеяния и асимметрия 1.0 нм пика в сторону больших углов на рентгенограммах образцов, насыщенных глицерином свидетельствуют о том, что в илистой фракции почвы профиля MAP-1 содержится больше смектитовой фазы, по сравнению с профилем MAP-2.

Илестая фракция горизонта А обогащена иллитом и обеднена лабильными минералами по сравнению с нижележащими горизонтами. В горизонте А почвы профиля MAP-2 содержится меньше иллитов и больше лабильных компонентов, чем в остальных горизонтах профиля.

За исключением горизонта А, в илестой фракции почвы профиля MAP-1 содержится больше смектита и смектитовых слоев в составе смешанослойных минералов по сравнению с таковыми в почве профиля MAP-2.

**Микростроение.** Микроморфологические исследования плоскопараллельных шлифов показало, что для гумусовых горизонтов обоих профилей характерны хорошо сепарированные агрегаты неправильной формы (рис. S1, а). В горизонте наблюдается гумусовая и глинисто-гумусовая плазма коричневого цвета, в ней заметны черные и коричневые гумусовые сгустки и хлопья. В горизонтах наблюдается присутствие растительных остатков, экскрементов клещей и энхитрид. Растительные остатки представляют собой неразложенные и слабо разложенные корни, различима

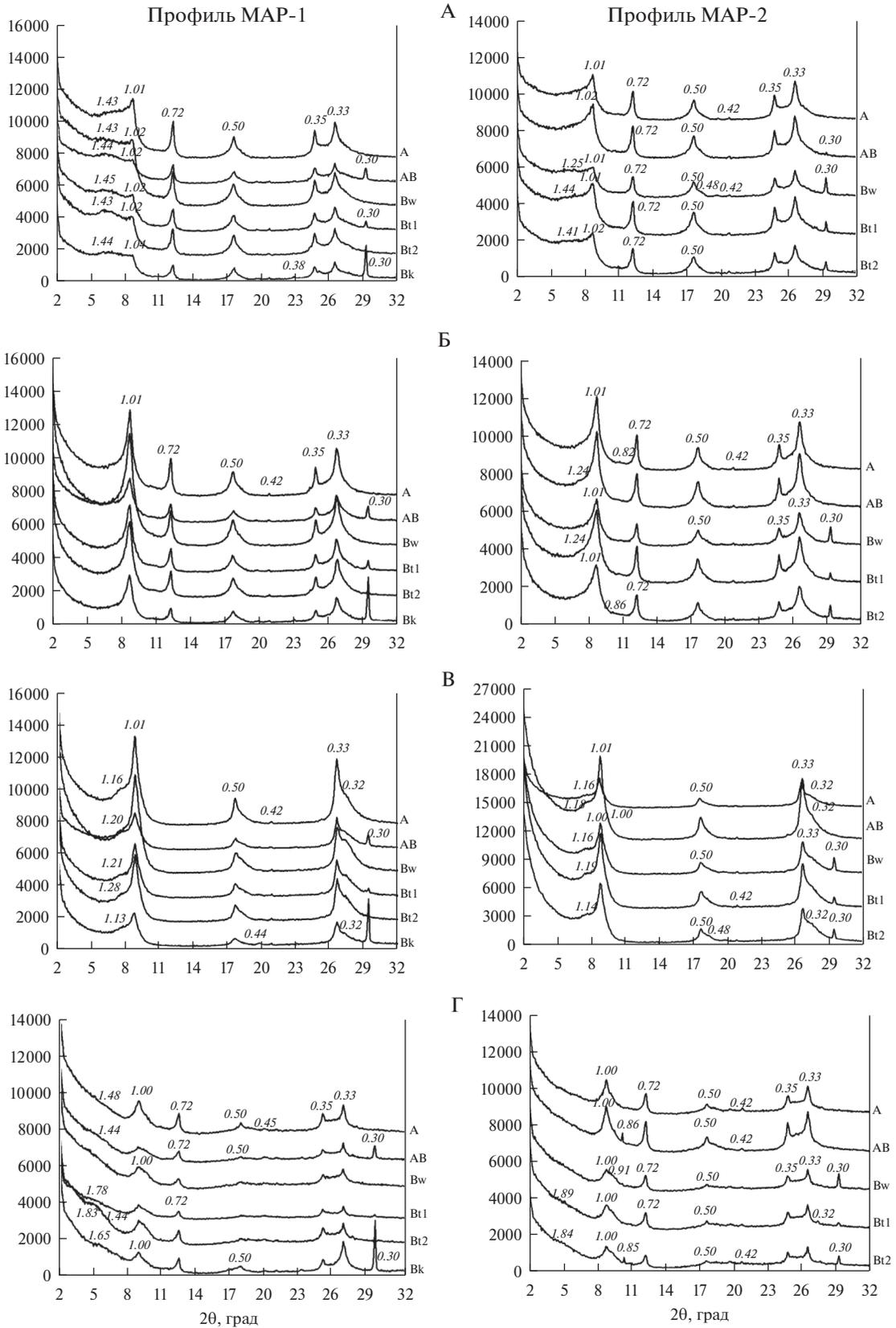


Рис. 2. Рентгendifрактограммы насыщенных Са образцов илистой фракции: А – воздушно-сухой, Б – прокаленный до 350°С, В – прокаленный до 550°С, Г – насыщенный глицерином.

форма тканей. Присутствуют гифы грибов. Горизонт Bw профиля MAP-1 характеризуется компактным строением, в красновато-бурой основной массе железисто-глинистого состава наблюдаются волокнистые формы строения микромаcсы. В отраженном свете наблюдаются красные микрзоны, присутствуют диффузные железистые пятна. Межагрегатные поры крупные, неправильной формы, внутри агрегатов имеются крупные ризогенные и зоогенные поры. Частицы мелкопесчаного размера кварцевого и полевошпатового состава включены в почвенные агрегаты, зерна минералов плохо окатаны, угловатой формы (рис. S1, b). Еще более компактная железисто-гумусовая основная масса обнаружена в горизонтах Bt обоих исследованных профилей, она разбита множеством тонких трещин, делящих почвенную массу на угловатые агрегаты (рис. S1, c). В плазме горизонта Bt разреза MAP-1 встречаются включения кальцита с признаками перекристаллизации на поверхности (рис. S1, c); в горизонте Bk содержатся более крупные фрагменты дезинтегрированной карбонатной породы (микрит) без признаков растворения (рис. S1, d). Также в горизонте Bk наблюдаются вторичные карбонаты по крупным порам (рис. S1, e). Поверх вторичных карбонатов в порах залегают глинистые кутаны иллювирования. В горизонте Bt профиля MAP-2 наблюдаются отчетливые железистые стяжения размером около 0.5 мм, указывающие на периодически гидроморфные условия в данном горизонте (рис. S1, f, g); ниже, в горизонте Bg профиля MAP-2 отмечается осветление за счет оглеения относительно рыхлых зон, прилегающих к порам и трещинам, в то время как угловатые компактные педы сохраняют интерференционную красновато-бурю окраску, характерную для частично ориентированной железистой глины (рис. S1, e). Также в горизонте Bt ориентация автохтонной глины вдоль трещины указывает на то, что в данном горизонте имеются слабо выраженные стресс-кутаны, формирование которых может быть связано с набуханием смектитовых глин в минеральной массе (рис. S1, g, h).

## ОБСУЖДЕНИЕ

**Почвообразовательные процессы.** По своим морфохроматическим характеристикам красноцветные глинистые профили напоминают сильно выветренные тропические почвы. В ряде публикаций [38] средиземноморские *terra rossa* действительно ассоциируются с красноцветными почвами тропиков и классифицируются как *Nitisols*, почвы, типичные для влажных и перемменно-влажных тропиков на основных и карбонатных породах. Однако большинство подобных красноцветных почв Средиземноморья, как и исследованные нами объекты, существенно отличаются

от тропических почв, сформированных на ферралитных корах выветривания. Отличие очевидно и по данным валового состава, и по составу слоистых силикатов в илистой фракции почв. В целом профили слабо дифференцированы по химическому составу мелкозема, в котором высокое содержание щелочных и щелочноземельных металлов наблюдается даже в поверхностных почти бескарбонатных горизонтах. Высокое содержание кальция в нижних горизонтах профиля MAP-1 связано с присутствием остаточных карбонатов. Состав глинистых минералов разнообразен: присутствуют как каолинит, индицирующий продвинутую стадию выветривания, так и минералы группы иллита, смектита и смешанослойные минералы, характерные для начальной или промежуточной стадии трансформации минералов. Вероятно, источник этих минералов различен. При формировании исходной карбонатной породы терригенные или вулканогенные слоистые силикаты попадали в морские осадки в результате эолового привноса. В дальнейшем при растворении известняка могла происходить одновременная трансформация силикатов. Наконец, в бескарбонатном профиле также происходило и происходит выветривание минералов. Скорее всего, хорошо окристаллизованные каолинит и иллит унаследованы от литогенной стадии. С почвообразованием, возможно, связано формирование иллит-смектита и хлорит-смектита. Однако для преобразования иллитовых слоев в смектитовые нужна кислая среда, наличие анионов-комплексобразователей и промывной режим для удаления продуктов реакции, что мало согласуется с условиями, существующими при растворении карбонатов. Несколькими более вероятно преобразование хлорита в хлорит-смектит за счет растворения добавочного октаэдрического слоя в щелочных условиях; при этом нельзя исключить, что и эти минералы имели литогенное происхождение. Выветривание силикатов, синхронное с растворением карбонатов, вряд ли возможно отделить от более поздних почвообразовательных процессов: и в том, и в другом случае выветривание происходило в мягких условиях при реакции среды, близкой к нейтральной. Макаров [20] также указывает для почв мыса Мартьян, что значительная часть глинистых минералов в почве унаследована от почвообразующей породы. Красные тона мелкозема могут иметь разные объяснения; далеко не всегда присутствие гематита в почве связано с интенсивным выветриванием [4]. Во-первых, красноцветные продукты выветривания могли попасть в осадочные карбонатные породы с терригенным материалом при их образовании в мезозое и палеогене [8]. Во-вторых, гематит мог образоваться при выветривании пирита, содержавшегося в известняках, синхронно с растворением карбонатной породы [9, 18]. В-третьих, красный цвет мелкозема в

*terra rossa* связан с выветриванием силикатных минералов в условиях сухого жаркого климата в присутствии карбонатов кальция, что способствует формированию гематита [36, 40]. Литогенное происхождение гематита нельзя исключать. Также тонкодисперсный пирит может рассматриваться как источник гематита: сходная морфология продуктов выветривания сульфидов описывалась во внебереговых автоморфных кислых сульфатных почвах [19]. Происхождение оксидов железа за счет выветривания железосодержащих силикатов сомнительно, поскольку общая степень выветренности силикатной части почвы низка, как за счет буферного действия карбонатов, нейтрализующих кислотный удар, так и за счет исходной малой агрессивности растворов.

Миграция вещества по профилю красноцветных почв слабо выражена. Хотя в профиле MAP-1 имеется разница в содержании ила между горизонтами A и Bt, достаточная для выделения горизонта *argic* [33], отсутствие на микроуровне ясно выраженных глинистых кутан указывает на слабое передвижение ила в профиле [6]; выделенные при полевом описании кутаны могут быть продуктами деформации поверхности агрегатов в слабо набухающих глинах, то есть стресс-кутанами. Мы предполагаем, что текстурная дифференциация формируется скорее за счет оглинивания срединных горизонтов, чем в результате иллювирирования, хотя Макаров [20] ранее обнаружил миграцию водно-диспергируемого ила в сходном профиле. Этот автор показал, что в некоторых почвах заповедник Мыса Мартьян максимум содержания ила в середине почвенного профиля связан с тем, что ил хуже диспергируется в верхних горизонтах, чем в срединных, за счет присутствия гумуса, а в нижних — за счет наличия карбонатов кальция. В целом передвижение глины по профилю маловероятно при близкой к нейтральной реакции по всему профилю почвы. Перемещение карбонатов в профиле также выражено слабо: на макроуровне оно вовсе не заметно на фоне вкраплений остаточного литогенного кальция, а в шлифах заметно по отдельным порам в нижних почвенных горизонтах (рис. S1, e). Примечательно, что по кальцитовой кутане формируется слабо выраженная глинистая пленка, что указывает на тот факт, что выщелачивание карбонатов, как и во многих других случаях, “запускает” процесс иллювирирования глины [7].

В почвах имеются признаки локальных и слабо развитых процессов. В нижних горизонтах профиля MAP-2 имеются признаки оглеения, которые заметны морфологически на макро- и микроуровнях, но не отражаются на химическом составе горизонтов. В горизонтах Bw и Bt обоих профилей отмечаются слабо выраженные стресскутаны: их зачаточное развитие связано с тем, что

смектит не является доминирующим минералом в составе илистой фракции.

Процессы, связанные с гумусонакоплением, выражены как на макро-, так и на микроуровнях. Морфология гумусовых горизонтов типична для средиземноморского климата. Содержание органического углерода высокое, около 4%, однако мощность собственно гумусово-аккумулятивного горизонта составляет 5–10 см. С глубиной содержания органического вещества снижается, на макроуровне уже с глубины 20–25 см темно-серая окраска сменяется красноватой. На микроуровне горизонт характеризуется сочетанием гумусово-глинистой плазмы и органических остатков разной степени разложения, что типично для почв областей с длительным засушливым периодом [6, 36].

**Классификация почв и ее связь с процессами почвообразования.** Почвы *terra rossa* в международной классификации попадают в три реферативные группы: Nitisols, Luvisols и Cambisols. В нашем случае почвы не могут быть классифицированы как Nitisols, поскольку ни один горизонт не содержит более 4% железа, извлекаемого дитионит-цитрат-бикарбонатной вытяжкой по Мера-Джексону [33]. Почвы могут быть отнесены к РПГ Luvisols, поскольку содержание ила возрастает более чем на 8% в горизонте B по сравнению с A, что считается достаточным для глинистых почв. Отметим, что в WRB наличие кутан иллювирирования необязательно для выделения горизонта *argic*, если нет явных признаков литологической неоднородности [33]. В отечественной традиции, начиная с 1970-х годов, *terra rossa* Южного берега Крыма включаются в тип коричневых почв с выделением подтипа “красноцветных” [16, 18, 20]. Как писал в свое время Вильде [43], использование хроматических характеристик в названиях почв приводит подчас к курьезам и противоречиям, яркий пример которых наблюдается и в данном случае: названия типа и подтипа указывают на разный цвет почвы. Следует отметить, что отнесение *terra rossa* к коричневым почвам имеет в основе зональную концепцию, по которой именно коричневые почвы формируются в средиземноморском субтропическом климате. За счет специфики почвообразующей породы, красноцветного глинистого элювия известняков, *terra rossa* существенно отличается от “центрального образа” коричневых почв и по морфохроматическим характеристикам, и по меньшей мощности гумусово-аккумулятивного горизонта, и по менее выраженной структуре срединных горизонтов, и по более глубокому выщелачиванию карбонатов. Также оглинивание срединных горизонтов, как отмечалось выше, является мнимым [20], даже если отвлечься от не вполне ясного понимания механизмов этого процесса. По сути, профили красноцветных почв мыса Мартьян, если не говорить о накоплении гумуса, которое находится в

динамическом равновесии по отношению к окружающей среде [41], сформированы за счет растворения карбонатов и рубефикации. Выветривание силикатов, текстурная дифференциация профиля и миграция вторичных карбонатов по профилю существенно отстают от указанных двух процессов. Подобное отставание объясняется отчасти низким потенциалом почвообразования в относительно сухих условиях, но в большей степени связано с низкой сенсорностью тяжелоглинистых почвообразующих пород [26]. Очевидно, специфика почвообразующих пород не позволяет рассматривать *terra rossa* как “очень старые коричневые почвы”, поскольку сам набор процессов исходно различается в почвах с разной сенсорностью. Включение этих почв в теоретический эволюционный ряд наряду с коричневыми почвами представляется мало обоснованным. Очевидно, что даже на ранних этапах формирования красноцветного элювия он отличался тяжелым гранулометрическим составом, высоким содержанием гематита и выщелоченностью от карбонатов. С гранулометрическим составом и плотностью была связана заторможенность структурного метаморфизма и миграции карбонатов, то есть поступательная эволюция профиля приводила преимущественно к углублению глинистой толщи. Хотя в современной почвенной классификации прямого аналога этих почв нет, все же ближе всего к ним стоят коричневые почвы. Парадоксальным образом, другим близким по свойствам к *terra rossa* типом почв оказываются слаборазвитые почвы — пелоземы гумусовые, которые характеризуются еще меньшим развитием гумусового горизонта и процессов преобразования минеральной массы.

**Палеопочва или ветусоль?** Некоторые исследователи красноцветных почв мыса Мартыян делали попытки разделить признаки почвообразовательных процессов на современные и унаследованные. Так, Макаров считал древними процессы гумусонакопления, накопления фитоцитов, опаловых и кальциевых биолитов, окарбоначивания, карбонатной цементации, лессиважа, внутрипочвенного выветривания и ожелезнения [15, 20]. К современным процессам указанный автор относил биогенное оструктурирование, физическое оструктурирование и ожелезнение метаморфического горизонта, карбонатную цементацию и внутрипочвенное выветривание. Обращает на себя внимание почти полное дублирование списка древних и современных почвообразовательных процессов. При этом есть сомнения в том, что биогенное оструктурирование и слабая слитизация не происходили в предшествующие эпохи: скорее, их признаки просто стерты свежими циклами тех же самых процессов.

Наши микроморфологические исследования не позволили однозначно разделить современные и унаследованные признаки почвообразователь-

ных процессов. Интерпретация данных химических анализов, например, профильного распределения слабоокристаллизованного железа, извлекаемого вытяжкой Тамма, не позволяет с уверенностью говорить о конкретных механизмах перехода оксидов и гидроксидов железа в дисперсную форму и о характерных временах этого процесса. На фоне стабильных значений содержания общего несиликатного железа трудно говорить об ожелезнении отдельных горизонтов. На наш взгляд, нет существенных оснований для разделения признаков древних и современных почвообразовательных процессов в профилях изученных почв. Аналогичным образом, Бронгер и Седов пришли к выводу о развитии почв *terra rossa* в Марокко в условиях стабильного климата и охарактеризовали их как ветусоли [28].

Предположение, что современные и древние процессы в почвах *terra rossa* Южного берега Крыма принципиально не отличались, подтверждается данными об относительной стабильности климатических условий Крыма, которые приобретали современные черты, начиная с плиоцена [3]. Климатические изменения, начиная с плиоцена [3] и в течение голоцена [29], были недостаточно значительными, чтобы изменить ландшафт средиземноморского типа этой территории. Предположения о климатических колебаниях в течение голоцена [15] основаны на гипотезе о том, что с увеличением глубины почвенный профиль отражает все более древние стадии развития, что требует дополнительного обоснования. Кроме того, даже в упомянутой работе [15] отмечаются незначительные колебания климатических условий, которые вряд ли могли полностью изменить ход почвообразования. Таким образом, *terra rossa* Южного берега Крыма не может рассматриваться как поверхностная палеопочва; термин ветусоль [30] представляется адекватным для данных поверхностных образований.

## ВЫВОДЫ

1. Красноцветные глинистые почвы *terra rossa* заповедника “Мыс Мартыян” представляют собой остаточные продукты выветривания карбонатных пород и синхронного с ним почвообразования.
2. Основными почвообразовательными процессами в изученных профилях является растворение и выщелачивание карбонатов и рубефикация. Менее развиты процессы выветривания силикатов, текстурной дифференциации профиля, разбухания глин и миграции вторичных карбонатов. Также отмечается накопление гумуса и связанное с ним биогенное оструктурирование.
3. Слабое развитие большинства почвообразовательных процессов связано с тяжелым грануло-

метрическим составом почв и компактностью их сложения, что определяет низкую сенсорность почв. Глинистые минералы преимущественно унаследованы от силикатных примесей в карбонатных почвообразующих породах, их преобразование в почвенном профиле незначительно.

4. *Terra rossa* заповедника “Мыс Мартьян” не могут рассматриваться как продвинутый представитель хроноряда коричневых почв из-за специфики глинистых почвообразующих пород, в которых большинство почвообразовательных процессов заторможено.

5. Красноцветные глинистые почвы мыса Мартьян не могут рассматриваться как поверхностные палеопочвы, поскольку почвообразовательные процессы в них не различались на протяжении педогенеза в плейстоцене и голоцене. Эти почвы должны рассматриваться как ветусоли — почвы, развивающиеся в течение длительного времени в относительно стабильных биоклиматических условиях.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Полевые работы по гранту частично финансировались за счет средств гранта Российского научного фонда № 17-17-01293 “Многоуровневые региональные почвенно-географические модели как основа устойчивого управления почвенными ресурсами”. Микрофотосъемка элементов микростроения проводилась на базе Центра коллективного пользования “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам и студентам кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ А.С. Сорокину, И.А. Ильичеву, А.С. Медведевой, магистранту кафедры геохимии ландшафта и географии почв географического факультета МГУ В.И. Гавриловой за помощь в проведении полевых работ, сотруднику кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ И.И. Толпеште за помощь в интерпретации результатов минералогических исследований, а также сотруднику Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии ИГ РАН Ю.В. Конопляниковой за помощь в проведении микрофотосъемки.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Рис. S1.** Микроморфологическое строение горизонтов почв: а — разрез MAP-1, горизонт А (0–7(10)) — органические остатки (фрагмент корня) с экскрементами; b — разрез MAP-1, горизонт Bw (20–35(40)), × — спутанно-волокнистое микростроение основной массы; с — разрез MAP-1, горизонт Bt2 (60(70)–90(95)) — угловато-блоковая микроструктура и фрагменты кальцита с признаками травления поверхности; d — разрез MAP-1, горизонт BCk (90(95)–160) — крупные блоки дезинтегрированного известняка, e — разрез MAP-1, горизонт BCk (90(95)–160), × — карбонатная кутана и покрывающая ее глинистая кутана; f — разрез MAP-2, горизонт BCg (70(80)–120), × — железистые стяжения; g — разрез MAP-2, горизонт Bt (40–70(80)) железистые стяжения; h — разрез MAP-2, горизонт Bt (40–70(80)), × — слабо выраженная глинистая стресс-кутана, локализованная вдоль трещины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов-Каратаев И.Н., Антонова М.А., Иллювиев В.П. Почвы Никитского сада. Л.: Печатня, 1929. 244 с.
2. Антюфеев В.В., Казмирова Р.Н., Евтушенко А.П. Агроклиматические, микроклиматические и почвенные условия в приморской полосе южного берега Крыма. Теоретические основы и практические рекомендации для рационального размещения при реконструкции насаждений // Сб. научных трудов ГНБС. Ялта, 2014. Т. 137. 88 с.
3. Борисов А.А. Климаты Крыма в различные геологические эпохи // Вестник Ленинградского гос. ун-та. 1955. № 4. С. 85–97.
4. Водяницкий Ю.Н., Лесовая С.Н., Сивцов А.В. Минералы железа в почвах на красноцветных породах // Почвоведение. 2001. № 7. С. 869–878.
5. Гаврилова В.И., Герасимова М.И., Гуров И.А., Костенко И.В., Плугатарь Ю.В. Почвы, почвенный покров и почвенно-геохимические особенности Никитского ботанического сада. М.: Географический факультет МГУ, 2018. 83 с.
6. Герасимова М.И. О микроморфологической диагностике элементарных почвенных процессов // Почвоведение. 1985. № 11. С. 105–113.
7. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. М.: ПНЦ РАН, 1992. 219 с.
8. Гладцин И.Н., Дзэнс-Литовская Н.Н. Terra rossa (красная земля) Тарханкутского полуострова // Тр. геогр.-эконом. исслед. ин-та ЛГУ за 1938 г. по физ.-геогр. Отделению. Очерки физической географии Крыма. Л.-М.: ОНТИ-НКТП-СССР. 1938. Вып. 1. № 16. С. 5–63.
9. Глазовская М.А., Парфенова Е.И. Биогеохимические факторы образования terra rossa Южного Крыма // Почвоведение. 1974. № 11. С. 12–23.
10. Добровольский В.В. Красноцветные образования Крыма и их палеогеографическое значение // Вестник Моск. ун-та. 1968. № 1. С. 45–50.
11. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. 2-е изд., доп. Симферополь: ДОЛЯ, 2004. 208 с.

12. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв (Опыт изучения динамики почвообразования) / Пер. с фр. М.И. Герасимовой. М.: Прогресс, 1970. 591 с.
13. Иванов В.Н. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Крымиздат, 1958. 184 с.
14. Казмирова Р.Н. Почвы и парковые фитоценозы южного берега Крыма. Киев: Аграрна наука, 2005. 183 с.
15. Ковалева Н.О., Решетникова Р.А., Ковалев И.В. К вопросу об эволюции ландшафтов Крыма в голоцене (на примере почв Мыса Мартьян) // Человек и природа: Мат-лы XXVIII Междунар. междисциплинарной конф. “Проблемы глобализирующегося мира” и III Междунар. междисциплинарной молодежной школы “Человек и природа перед вызовами глобализации”. М.: МАКС Пресс, 2018. С. 54–55.
16. Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. Киев: Аграрна наука, 2014. 184 с.
17. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования. М.: Колос, 1967. 368 с.
18. Кочкин М.А., Казмирова Р.Н., Молчанов Е.Ф. Почвы заповедника “Мыс Мартьян” // Тр. Никитского ботанического сада. 1976. Т. 70. С. 26–44.
19. Красильников П.В., Сафонова В.М., Седов С.Н. Сульфатнокислосое выветривание в почвах Северной Карелии // Почвоведение. 1995. № 6. С. 740–746.
20. Макаров О.А. Минералого-микроморфологические особенности коричневоземообразования. Автореф. дис. ... канд. биол. н. М., 1995. 24 с.
21. Маслов И.И., Крайнюк Е.С., Саркина И.С., Костин С.Ю., Сергеенко А.Л. Основные направления и результаты научной и природоохранной деятельности отдела охраны природы НБС-ННЦ, природного заповедника “Мыс Мартьян” // Бюл. Никитского ботанического сада. 2010. Вып. 100. С. 29–39.
22. Плугатарь Ю.В., Багрикова Н.А., Белич Т.В., Костин С.Ю., Крайнюк Е.С., Маслов И.И., Садогурский С.Е., Садогурская С.А., Саркина И.С. Природный заповедник “Мыс Мартьян”. Симферополь: ИТ “Ариал”, 2018. 104 с.
23. Половицкий Я.И., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
24. Прасолов Л.И., Антипов-Каратаев И.Н. Почвы Крымского государственного лесного заповедника и прилегающих местностей // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Л.: АН СССР, 1932. Т. VII. 280 с.
25. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К., 2005. 336 с.
26. Таргульян В.О. Теория педогенеза и эволюции почв. М.: ГЕОС, 2019. 296 с.
27. Boero V., Schwertmann U. Iron oxide mineralogy of terra rossa and its genetic interpretation // Geoderma. 1989. V. 44. P. 319–327.
28. Bronger A., Sedov S. Vetusols and Paleosols: Natural versus man induced environmental change in the Atlantic coastal region of Morocco // Quaternary International. 2003. V. 106–107. P. 33–60.
29. Cordova C.E., Lehman P.H. Holocene environmental change in southwestern Crimea (Ukraine) in pollen and soil records // The Holocene. 2005. V. 15. № 2. P. 263–277.
30. Cremachi M. Paleosols and vetusols in the central Poland (Northern Italy) a study in Quaternary Geology and soil development. Milano: Unicopli, 1987. 306 p.
31. Durn G., Ottner F., Slovenec D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia // Geoderma. 1999. V. 91. № 1–2. P. 125–150.
32. Feng J., Zhu L., Cui Z. Quartz features constrain the origin of terra rossa over dolomite on the Yunnan-Guizhou Plateau, China // J. Asian Earth Sci. 2009. V. 36. P. 156–167.
33. IUSS Working Group WRB 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome. 192 p.
34. Jackson M.L., Clayton R.N., Violante A., Violante P. Eolian influence on terra rossa soils of Italy traced by oxygen isotopic ratio // 7th Int. Clay Conf., Pavia, Italy. 1982. P. 293–301.
35. Ji H., Wang S., Ouyang Z., Zhang S., Sun C., Liu X., Zhou D. Geochemistry of red residua underlying dolomites in karst terrains of Yunnan-Guizhou Plateau I. The formation of the Pingba profile // Chem. Geol. 2004. V. 203. P. 1–27.
36. Kubiena W. Micromorphological features of soil geography. Univ. Press, New Brunswick, New Jersey, 1970. 254 p.
37. Moresi M., Mongelli G. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia, Italy // Clay minerals. 1988. V. 23. № 4. P. 439–446.
38. Priori S., Costantini A.C.E., Capezzuoli E., Protano G., Hilgers A., Sauer D., Sandrelli F. Pedostratigraphy of Terra rossa and Quaternary geological evolution of a lacustrine limestone plateau in central Italy // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2008. V. 171. P. 509–523.
39. Sedov S., Solleiro-Rebolledo E., Fedick S.L., Pi-Puig T., Vallejo-Gómez E., de Lourdes Flores-Delgado M. Micromorphology of a soil catena in Yucatán: pedogenesis and geomorphological processes in a tropical karst landscape // New trends in soil micromorphology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 19–37.
40. Singer A., Schwertmann U., Friedl J. Iron oxide mineralogy of Terre Rosse and Rendzinas in relation to their moisture and temperature regimes // European J. Soil Science. 1998. V. 49. № 3. P. 385–395.
41. Targulian V.O., Krasilnikov P.V. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance // Catena. 2007. V. 71. P. 373–381.
42. Vingiani S., Di Iorio E., Colombo C., Terribile F. Integrated study of Red Mediterranean soils from Southern Italy // Catena. 2018. V. 168. P. 129–140.
43. Wilde S.A. Soil Science and semantics // J. Soil Science. 1953. V. 4. № 4. P. 1–4.
44. Yaalon D. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? // Catena. 1997. V. 28. № 3–4. P. 157–169.

## Indicators of Pedogenetic Processes in Red Clay Soils of the Cape Martyan Reserve, South Crimea

N. V. Agadzhanova<sup>1</sup>, Yu. G. Izosimova<sup>1</sup>, I. V. Kostenko<sup>2</sup>, and P. V. Krasilnikov<sup>1, 3, \*</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

<sup>2</sup>*Nikita Botanical Garden – National Scientific centre RAS, Yalta, 98648 Republic of Crimea*

<sup>3</sup>*Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185910 Republic of Karelia*

*\*e-mail: krasilnikov@soil.msu.ru*

In the Cape Martyan Reserve, located on the southern Crimean coast, there are red clay soils over limestone, which are traditionally associated with Mediterranean *terra rossa*. Though such soils are well studied, there are several open questions related to the genesis of the red-colored soils of Cape Martyan. Many researchers considered them as surface paleosols, comprising both features formed in the previous epochs and those of current processes. In this paper, based on the analyses of physical and chemical properties of red soils, composition of their clay fraction and micromorphological features, we showed that almost all soil-forming processes, except for the millennial dissolution of calcareous rocks and rubefication of residual silicate clay, are poorly expressed, due to the low sensitivity to pedogenesis of the compact clay parent material. In the profiles, almost no signs suggest that past pedogenesis differed from the current one, and this is consistent with the data on the climate stability since the Pliocene in this area. The studied soils can be considered as Vetusols – ancient soils that develop under relatively constant bioclimatic conditions.

*Keywords:* terra rossa, Vetusol, surface paleosol, micromorphology, clay mineralogy