

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 552.543:551.736.3+551.83

doi: 10.26907/2542-064X.2021.3.371-389

ДОЛОМИТОВЫЕ КАЛЬКРЕТЫ ИЗ КРАСНОЦВЕТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ПЕРМИ ОРЕНБУРГСКОГО ПРИУРАЛЬЯ

Ф.А. Муравьев¹, Н.М. Хасанова¹, Э.З. Юнусова²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 480008, Россия

²Инжиниринговая компания «Спектр», г. Казань, 480061, Россия

Аннотация

В работе приведены результаты литолого-минералогического и геохимического исследования двух профилей доломитовых калькретов (разрезы Боевая Гора и Туембетка) из верхней части отложений вятского яруса пермской системы Оренбургского Приуралья. Калькрет из разреза Боевая Гора сформирован на песчано-алевритовом равнинном пролювии с проточным режимом в обстановке медленного тектонического опускания территории. Калькрет из разреза Туембетка формировался на глинистых осадках бессточных приподнятых равнин на тектонически стабильной территории.

По геохимическим индикаторам иллювиальных горизонтов профилей реконструированы субтропические полуаридные климатические условия образования калькретов. Присутствие ангидрита в профилях калькретов указывает на засоленность почвенных вод во время их формирования. Микрокристаллические идиоморфные доломитовые зерна (1–3 мкм), а также низкие значения отношений содержания Mn^{2+} в Са- и Mg-позициях доломита калькретов (0.7–1.8) свидетельствуют о его первичном происхождении и быстрой кристаллизации из почвенных вод. Свободные органические радикалы и фосфорные анионные центры в изученных педогенных доломитах, выявленные методом электронного парамагнитного резонанса, предполагают биогенный вклад в формирование доломита. В составе обоих калькретов с помощью сканирующей электронной микроскопии выявлено присутствие минерализованных гифов почвенных грибов и бактериальных образований. Сделано предположение о бактериальном происхождении доломита изученных калькретов.

Ключевые слова: калькрет, доломит, парамагнитные центры, биотурбация, палеопочва, вятский ярус, пермь, Оренбургское Приуралье

Введение

Калькреды (каличе), в узком смысле, представляют собой приповерхностные почвенные образования, состоящие из кальцита (доломита), которые формируются в результате насыщения почвенных вод карбонатами при их испарении в условиях аридного и полуаридного климата [1, 2]. Морфология почвенных калькретов весьма разнообразна – от микрозернистых рыхлых включений в терригенных породах до твердых нодулей и самостоятельных массивных карбонатных слоев мощностью до нескольких метров [3]. Обычно калькреды формируются в пределах зоны аэрации в процессе подтягивания и испарения капиллярной влаги,

при этом рост калькретов происходит снизу вверх, иногда достигая земной поверхности [3]. Огромную роль в формировании калькретов играют корни растений [4], а также микробиальные почвенные сообщества, создающие биохимические условия, благоприятные для осаждения карбонатов [3]. В разрезах континентальных красноцветных отложений разного геологического возраста калькреды широко распространены и приурочены к верхним частям седиментационных циклов, маркируя перерывы в осадконакоплении [5, 6].

Пермские и триасовые палеопочвы Оренбургского Приуралья, сформированные на красноцветных терригенных осадках и содержащие калькреды, в настоящее время изучены во многих опорных разрезах региона с точки зрения общей эволюции карбонатакопления в контексте климатических и палеогеографических изменений на рубеже перми и триаса [5, 7, 8]. В этих работах, в частности, было выявлено широкое развитие доломитовых калькретов в терминальных отложениях перми (вятский ярус) и резкий переход к кальцитовой почвенной минерализации в начале триаса. Причиной исчезновения в регионе доломитовых палеопочв к концу пермского времени наряду с гумидизацией климата, изменениями гидрологического режима речных систем, по мнению Т. Кирси с соавторами [7], могло послужить исчезновение специфичной почвенной микробиоты, необходимой для формирования доломита.

В настоящей работе приводятся результаты детального изучения и сравнительная характеристика двух палеопочвенных профилей (калькретов) вятского яруса верхней перми для уточнения на этой основе локальных особенностей их формирования.

Материал и методы исследования

Объектом исследования являются два палеопочвенных профиля с доломитовыми калькретами разной степени зрелости, один из разреза Боевая Гора, второй – из разреза Туембетка (рис. 1). Оба профиля залегают в верхней части вятских отложений, в 40–50 м ниже границы перми и триаса [7–9], поэтому их можно считать примерно одновозрастными.

Полевые наблюдения включали описание характера залегания, структурно-текстурных признаков калькретов и вмещающих их пород, а также степени их зрелости по классификации М.Н. Машетта [10]. Оба разреза представляют собой естественные обнажения, пробы были отобраны из расчисток глубиной 1 м. Профили калькретов из разреза Боевая Гора мощностью 1.0 м и разреза Туембетка мощностью 2.2 м опробованы с шагом 30 см; всего отобрано 12 проб. Диагностику палеопочвенных признаков проводили согласно методике Г.Дж. Реталлака [11], типизацию палеопочв – по схеме Г. Мака и др. [12].

Минералогический состав илистой фракции изучали с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 Phaser (Bruker, США), запись проводили при $\text{CuK}\alpha$ -излучении, 2θ , углы от 3° до 40° , время накопления 1 с. Илистая фракция получена путем отмучивания нерастворимого в 2N HCl остатка пород почвенных горизонтов Bw.

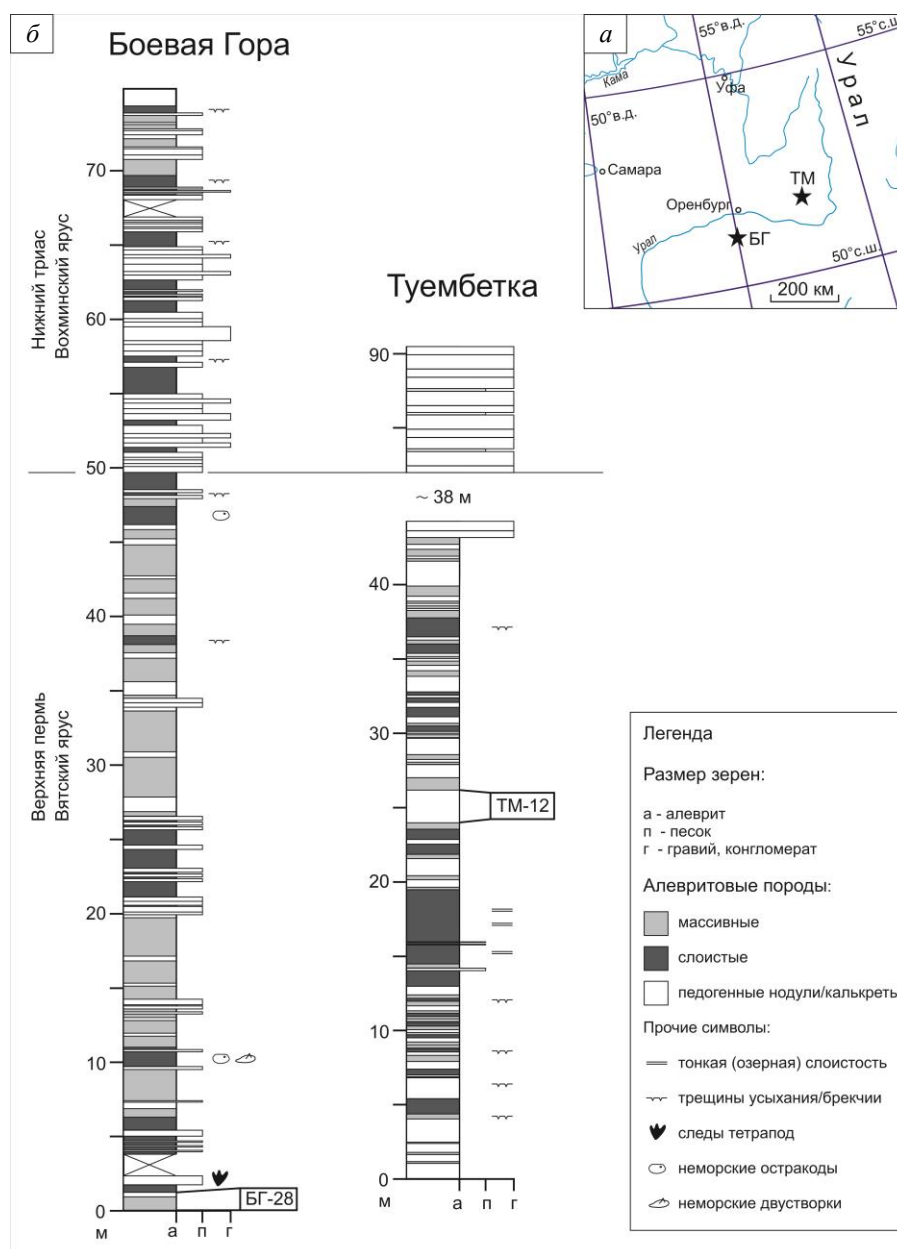


Рис. 1. Географическое положение района работ (а) и стратиграфическое положение изученных профилей калькредов (б) в разрезах Боевая Гора (БГ-28) и Туембетка (ТМ-12): БГ – Боевая Гора, ТМ - Туембетка

Химический состав обломочных пород, вмещающих калькреды, изучался с помощью рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) на рентгено-флуоресцентном спектрометре M4 Tornado (Bruker, США); результаты представлялись в виде оксидов химических элементов. Для оценки среднегодового количества осадков во время формирования палеопочвенных профилей были использованы геохимические индикаторы выветривания CALMAG [13] и $\Sigma_{\text{bases}}/\text{Al}$ [14]. Среднегодовые температуры оценивались по индикатору $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ [15].

Для расчета всех геохимических индикаторов использовались молярные проценты оксидов химических элементов.

Микростроение и минералогический состав калькретов исследовали с помощью оптической микроскопии. Детализацию особенностей внутреннего строения, а также оценку роли биогенного фактора в формировании калькретов проводили с помощью СЭМ на микроскопе Auriga Cross Beam (Carl Zeiss, Германия) с энергодисперсионной приставкой X-Max (Институт нанотехнологий и наноматериалов, КНИТУ, г. Казань), исследовали свежие сколы пород. Микропримесный состав карбонатных минералов, слагающих кальклеты, изучали методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Спектры исходных и термообработанных образцов (350 °С, 600 °С) регистрировались на ЭПР-спектрометре SMS-8400 X-диапазона (УП «АДАНИ», Белоруссия). Методика записи и обработки спектров ЭПР приведена в работах [16, 17].

Результаты

Калькрет из разреза Туембетка представляет собой идеализированный профиль с полным набором структурно-генетических горизонтов (рис. 2, а, б) (сверху вниз).

Д (перекрывающий слой, 40 см). Плитчатый алевролит бурого цвета, плотный, доломитовый, содержит мелкие (до 5 мм) карбонатные нодулы, не несет признаков корневых систем. Переход по цвету и составу, граница резкая, волнистая, местами карманообразная.

Палеопочва (0–220 см).

К (массивный карбонатный горизонт, калькрет, 0–190 см). Ламинарный подгоризонт (0–70 см). Массивный доломит розовато-серого цвета, разбит трещинами на отдельные уплощенные блоки до 10–20 см толщиной с волнистыми субгоризонтальными поверхностями. Наблюдаются отпечатки корневых систем диаметром 1–5 мм преимущественно субгоризонтальной ориентации с белесыми ореолами вокруг них. В нижней части подгоризонта внутри блоков прослеживаются редкие трещины различной ориентации, заполненные кристаллическим кальцитом, переходящие местами в зоны брекчирования. Ширина трещин – 3–7 мм, ширина зон брекчирования – 5–15 мм. Переход постепенный по изменению окраски, смене уплощенных блоков кубическими и появлению субвертикальных отпечатков корней.

Массивный подгоризонт (70–105 см). Плотный массивный доломит розовато-бурой окраски, залегает блоками кубической формы размерами 10–25 см, содержит редкие отпечатки корневых систем субвертикальной ориентации диаметром 1–3 мм. Переход довольно четкий по морфологии блоков.

Нодулярный подгоризонт (145–185 см). Плотный алевритистый доломит светло-бурого цвета представлен тесно сросшимися округлыми нодулями размером от 5 до 15 см. Границы нодулей подчеркиваются прослоями и линзами плотной красно-бурой алевритовой глины. Переход четкий по цвету и плотности, граница языковатая.

Вк (185–200 см). Рыхлый, мелоподобный белого и розово-белого цвета, содержит плотные овальные карбонатные нодулы размером от 3 до 7 см. Переход резкий по цвету и составу, граница волнистая.

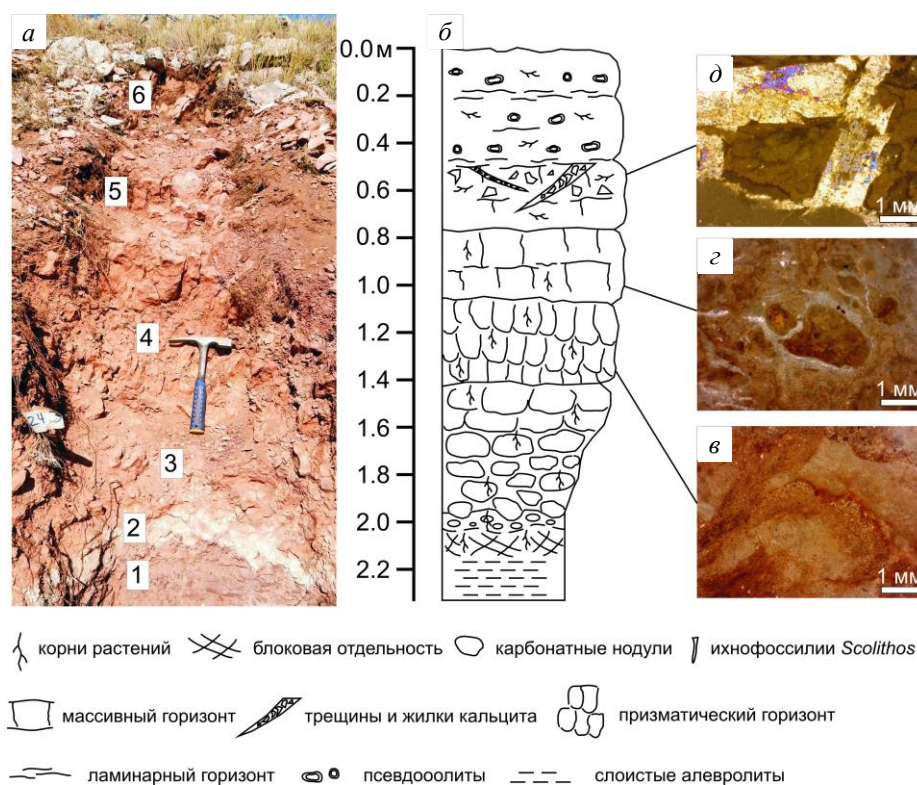


Рис. 2. Калькрет из разреза Туембетка: *a* – общий вид: 1 – горизонт Ww, алевритистая глина, 2 – горизонт Vk, доломитовые нодулы в карбонатной муке; горизонт K: 3 – слившиеся доломитовые нодулы, 4 – призматический подгоризонт, 5 – массивный подгоризонт, 6 – брекчированный и ламинарный подгоризонты; *b* – схема-прорисовка вертикального профиля; микрофотографии: *в* – скопление алевритовых зерен в глинисто-охристых зонах в результате биотурбации; *г* – комки-сгустки обохренного доломитового микрита с круговыми трещинами вокруг них; *д* – брекчированный горизонт, трещины в доломитовом микрите заполнены крупнокристаллическим кальцитом

Ww (200–220 см). Плотный, суглинистый, красновато-бурого цвета, структура ореховато-комковатая в верхней части, переходит в блочно-комковатую в нижней части. Основная масса содержит густую сеть белесых тонких корневых отпечатков, слабо вскипает от HCl. Переход постепенный по уменьшению густоты корневых отпечатков, появлению отчетливой слоистой структуры.

Согласно классификации М.Н. Машетта [10], данный калькрет относится к VI, наиболее зрелой стадии развития.

Микроскопически основная масса калькрета представлена доломитовым микритом (2–5 мкм), в различной степени обохренным, комковатым, сильно биотурбированным, с более светлыми зонами по корневым ходам. Количество обломочных зерен алевритовой размерности в общей микритовой массе не превышает 7% и постепенно уменьшается вверх по профилю калькрета. Эти зерна сосредоточены в глинисто-охристых линзах и прослойках, формирующих пятнистый рисунок и окаймляющих более светлые зоны карбонатного микрита (рис. 2, *в*). В средней, массивной части калькрета наблюдаются субовальные

стяжения (нодули) размером до 1–2 мм, отделенные дугообразными трещинками, заполненными вторичным кальцитом (рис. 2, *з*). В верхнем, ламинарном горизонте порода разбита сетью коротких трещин, заполненных вторичным кристаллическим кальцитом, цементирующим угловатые обломки калькрета (рис. 2, *д*). Часто стенки этих трещин покрыты железисто-карбонатными (железисто-гумусовыми?) ярко-бурыми кутанами, кристаллический кальцит расположен поверх кутан в центральных частях трещин. Такое строение может являться показателем приповерхностного положения калькрета, который растрескивался вместе с вышележащей суглинистой почвой при сезонном усыхании.

Профиль калькрета из разреза Боевая Гора представлен сверху вниз следующими горизонтами (рис. 3, *а, б*).

Д (перекрывающий слой, 30 см). Плитчатый алевролит глинистый, красно-бурого цвета, плотный, доломитовый, содержит мелкие (до 10 мм) округлые глеевые пятна, не несет признаков корневых систем. Переход по цвету и составу, граница резкая, волнистая.

Палеопочва (0–110 см).

К (массивный карбонатный горизонт, калькрет, 0–40 см). Плотный доломит алевролитовый розово-белого цвета, структура блочно-комковатая. Основная масса содержит тонкие отпечатки корней (до 1–2 мм), часто заполненные темно-красным железисто-глинистым материалом. На верхней твердой поверхности горизонта встречены ихнофоссилии *Skolithos* (?), представляющие собой субвертикальные ходы животных округлого сечения диаметром 2–5 мм, заполненные однородным карбонатным микритом и имеющие более темный розовый оттенок по сравнению с вмещающим розово-белым калькретом. Переход постепенный по цвету и составу.

Вк (40–70 см). Плотный, пылеватый, светло-бурого цвета, структура блочно-комковатая. Размеры блоков от 10 до 15–20 см. Вскипает от HCl. Сохранились седиментационные структуры в виде серий слойков с разнонаправленной диагональной слоистостью. Содержит тонкие отпечатки корневых систем субгоризонтальной ориентации, заполненные железисто-глинистым материалом, реже – мелкокристаллическим кальцитом. Переход постепенный по структуре и уменьшению содержания карбонатов.

Вw (70–110 см). Плотный, пылеватый, бурого цвета, структура блочно-плитчатая, размеры блоков до 5–7 см. Отпечатки корневых систем тонкие (1–3 мм), ветвящиеся, заполнены белым материалом. Переход постепенный по появлению отчетливой тонкослоистой структуры и исчезновению корневых отпечатков.

Верхняя часть профиля представлена массивным твердым доломитовым горизонтом (рис. 3, *б*), что позволяет отнести данный калькрет к IV стадии развития [10]. Все породы содержат корневые ходы и сильно биотурбированы, карбонатность увеличивается от 17% в нижней части до 80% в верхней части профиля.

Микроскопически основная масса калькрета в иллювиальном горизонте Вw и карбонатном горизонте Вк представлена охристо-глинисто-карбонатным сильно биотурбированным корнями материалом со взвешенными в нем полуугловатыми зернами кварца мелкопесчаной и алевролитовой размерности (рис. 3, *в, з*). Стенки корневых каналов часто покрыты железистыми и железисто-карбонатными натеками (кутанами). Массивный карбонатный горизонт К представлен доломитовым

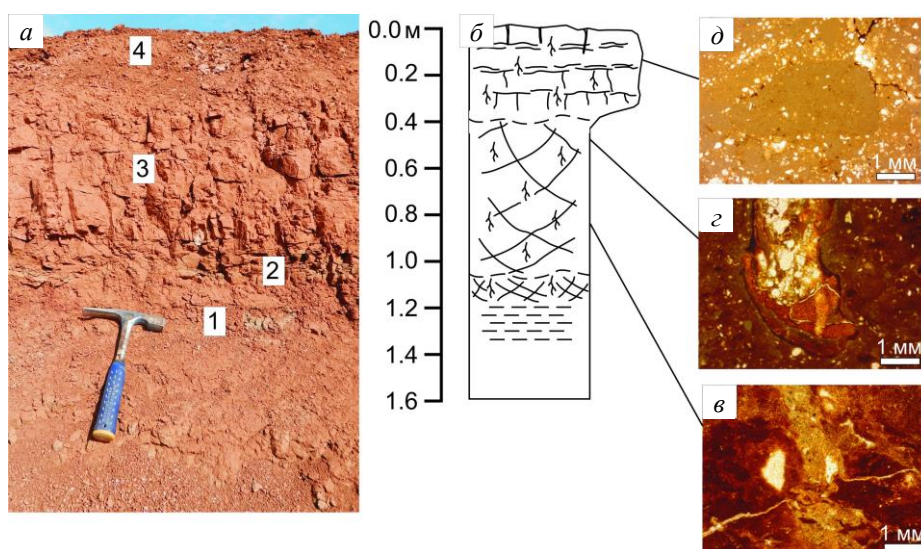


Рис. 3. Калькрет из разреза Боевая Гора: *a* – общий вид: 1 – горизонт D, слоистый алевролит, 2 – горизонт Bw, мелкоблоковый алевролит доломитистый, 3 – горизонт Bk, крупноблоковый алевролит доломитовый, 4 – горизонт K, массивный доломит; *б* – схема-прорисовка вертикального профиля; микрофотографии: *в* – биотурбация корневыми ходами (светлое) алевролитовой массы; *г* – корневые пустоты, заполненные охристоголинистым веществом и вторичным кальцитом; *д* – овальное сечение хода *Skolithos* (?) с оттесненными к периферии обломочными зернами кварца. Условные обозначения см. на рис. 2

микритом с «плавающими» в нем песчано-алевритовыми зернами кварца, содержание которых не превышает 15–20% (рис. 3, *д*). Стенки трещин и корневых каналов здесь также заполнены железистыми иллювиальными кутанами. Характерной особенностью этого горизонта является присутствие многочисленных микритовых карбонатных стяжений (нодулей) размером 0.1–2 мм, занимающих до половины площади породы. Кроме этих стяжений встречаются субовальные комки практически «чистого» карбонатного микрита диаметром 4–6 мм с оттесненными к их границам скоплениями обломочных зерен (рис. 3, *д*), которые могут представлять собой заполнение ходов илоедов *Skolithos* (?), перерабатывающих осадок вместе с корнями растений.

Исследование с помощью СЭМ свежих сколов калькрета разреза Туембетка показало крипто-микрозернистое строение его основной массы с размерами зерен доломита 1–3 мкм, а также присутствие в ней минерализованных гифов почвенных грибов (рис. 4, *а*). Калькрет из разреза Боевая Гора имеет в целом сходное микростроение. Поверхность отдельных доломитовых зерен здесь также часто покрыта мелкими шаровидными и нитевидными наростами (100–200 нм) (рис. 4, *б*), имеющими, скорее всего, бактериальное происхождение. Кроме того, в калькрете из разреза Боевая Гора нередко встречаются минерализованные фрагменты растительных тканей высокоуглеродистого состава (рис. 5), представляющие собой, вероятно, обрывки корней растений.

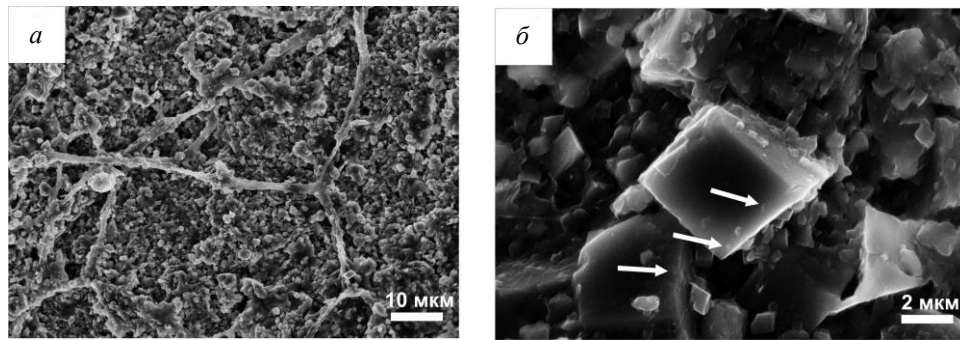


Рис. 4. Минерализованные гифы грибов (а), доломитовый калькрет, верхняя часть, разрез Туембетка; крипто-микрoзернистые идиоморфные зерна доломита (б), покрытые шаровидными образованиями бактериальной природы (показаны стрелками), доломитовый калькрет, верхняя часть, разрез Боевая Гора. СЭМ, вторичные электроны

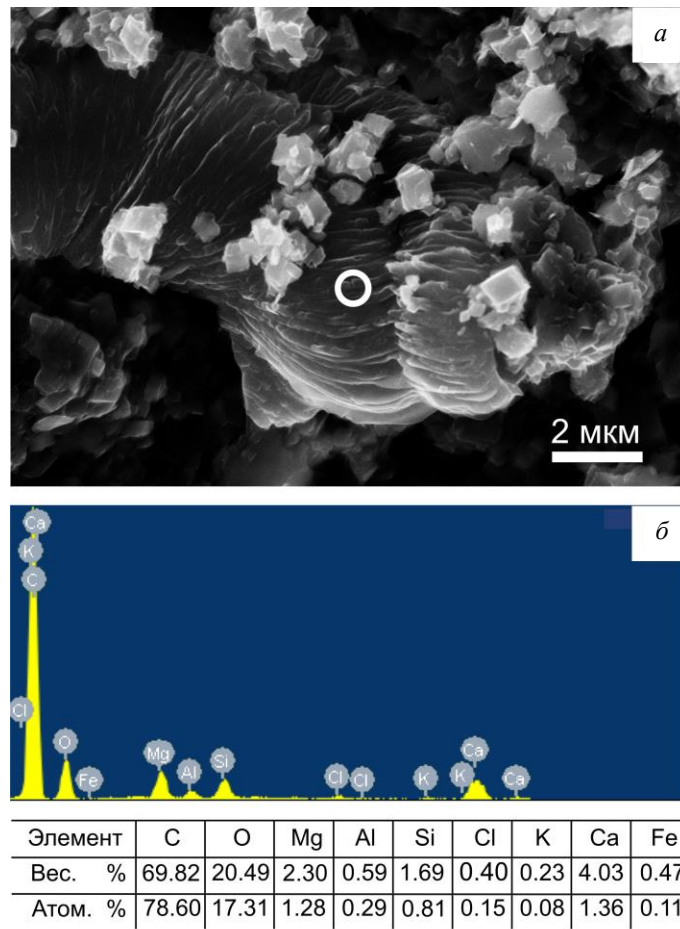


Рис. 5. Микрофотография минерализованного фрагмента растительной ткани (предположительно, корень растения) с кристаллами микрoзернистого доломита (а); спектр элементного состава и процентное содержание элементов в нем (б). Место снятия спектра показано белым кругом. Доломитовый калькрет, верхняя часть, разрез Боевая Гора (СЭМ, вторичные электроны)

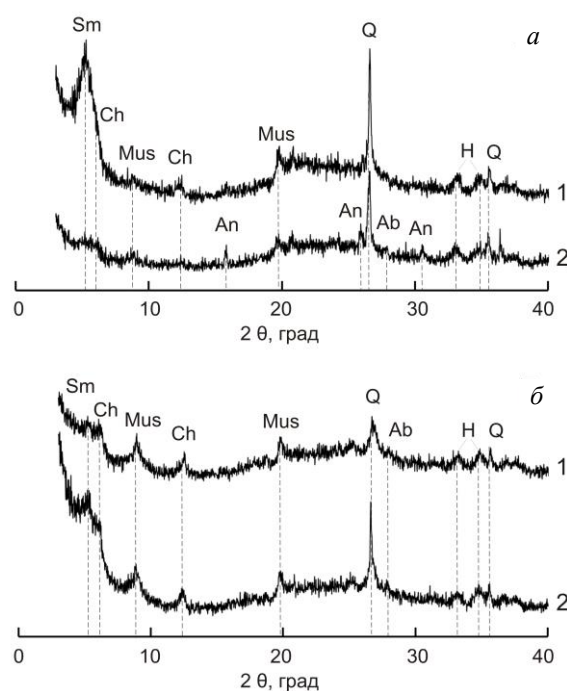


Рис. 6. Дифрактограммы илистой фракции почвенного горизонта Bw (1) и почвообразующих пород (2) из профилей Туембетка (а) и Боевая Гора (б). Sm – смектит, Mus – мусковит, Ch – хлорит, An – анальцим, Q – кварц, Ab – альбит, H – гематит; образцы насыщены этиленгликолем

Илистая фракция иллювиального горизонта Bw профиля разреза Туембетка представлена смектитом, мусковитом, хлоритом, кварцем, альбитом, гематитом (рис. 6, а). Различие с почвообразующими породами заключается в значительной доле смектита среди слоистых силикатов и в отсутствии анальцима в почве. Близкий состав илистой фракции наблюдается в почве профиля разреза Боевая Гора, здесь почва полностью наследует минералогический состав почвообразующих пород, различаясь содержанием глинистых минералов (рис. 6, б).

По данным ЭПР-анализа, карбонатные минералы профилей обоих калькретов представлены доломитом, в котором присутствуют парамагнитные центры Mn^{2+} (рис. 7, 1), фосфатные радикалы [18], сульфатные ион-радикалы, принадлежащие ангидриту (рис. 7, 2), а также органические радикалы синегенетического органического вещества (C_{600}) (рис. 7, 3). Показатель заселенности Ca- и Mg-позиций доломита ионами Mn^{2+} в исследуемых калькретах варьирует от 0.7 до 1.8. Доломит калькрета Боевая Гора характеризуется существенно меньшим содержанием органических и неорганических радикалов и присутствием тонкодисперсных оксидов и гидроксидов железа, дающих широкую линию в спектре ЭПР Mn^{2+} (рис. 7, 1б) и затрудняющих идентификацию полезных сигналов.

На основе данных химического анализа силикокластики почвенных горизонтов Bw (табл. 1) было определено среднегодовое количество осадков по геохимическим индикаторам. Использовались индикаторы CALMAG ($CALMAG = (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + MgO + CaO))$) [15] и Σ_{bases}/Al ($\Sigma_{bases}/Al = (Na_2O + MgO + K_2O + CaO) / Al_2O_3$) [14]. Полученные данные представлены в табл. 2. Среднегодовые

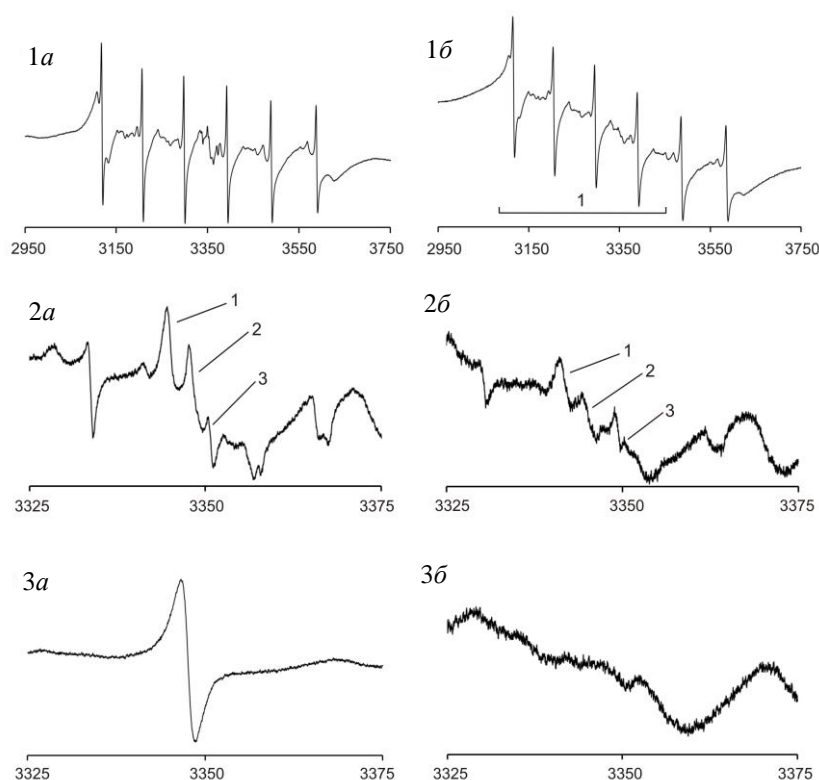


Рис. 7. Парамагнитные центры в породах верхних частей профилей калькретов: *a* – Туембетка, *б* – Боевая Гора; 1 – спектр Mn^{2+} в доломите, широкая линия 1 в окне 1б – тонкодисперсные оксиды железа; 2 – спектр сульфатных ион-радикалов в ангидрите (1 – SO_2^- , 2 – SO_3^-) и фосфатного ион-радикала (3 – PO_2^{2-}) в доломите; 3 – спектр свободного органического радикала после 600 °С отжига (C_{600}). Шкала магнитного поля показана в 0.1 Гс

Табл. 1

Главные оксиды почвенных горизонтов Bw изученных профилей (% вес.)

Профиль	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ППП
Туембетка	1.14	7.40	14.02	53.03	1.82	1.32	8.56	0.07	11.69
Боевая Гора	1.86	5.52	16.02	54.88	2.11	1.06	7.03	0.21	10.30

Табл. 2

Геохимические индикаторы почвенных горизонтов Bw изученных профилей и оценка среднегодового количества осадков (мм) и среднегодовых температур

Профиль	CIA	CALMAG	Σ_{bases}/Al	$\frac{(K_2O + Na_2O)}{Al_2O_3}$
Туембетка	76	465 (±108)	608 (±235)	+11 °С
Боевая Гора	73	700 (±108)	685 (±235)	+12 °С

температуры, рассчитанные по отношению $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$ [15], показали значения 11 °С для профиля разреза Туембетка и 12 °С для профиля разреза Боевая Гора (табл. 2).

Обсуждение

Оба изученных палеопочвенных профиля относятся к кальцисолям [12], так как их важнейшим структурно-генетическим признаком является наличие самостоятельного сцементированного карбонатного горизонта (калькрета).

Общими для обоих профилей признаками являются присутствие *in situ* отпечатков корневых систем растений как в карбонатных, так и в иллювиальных горизонтах, сильная биотурбация почвенного материала корнями, а также признаки вымывания железистого материала, усиливающиеся в верхних частях профилей. Последнее связано с периодическим увлажнением почвенных профилей атмосферными осадками.

Вместе с этим окристаллизованный гематит, постоянно присутствующий в почвах обоих профилей, может быть показателем дефицита влаги в процессе осадконакопления/педогенеза, так как при ее достаточном количестве он должен подвергаться гидратации и превращению в гидроокислы железа. С другой стороны, довольно высокий геохимический показатель выветрелости (CIA, 73–76, табл. 2) палеопочв, который должен указывать на гумидные климатические условия, в данном случае может свидетельствовать о переотложении обломочного материала почвообразующих пород. Незначительная доля глинистых минералов в почвенных горизонтах профиля разреза Боевая Гора отражает более активную гидродинамику, проточный режим осадконакопления. В профиле разреза Туембетка, напротив, обогащение смектитом почвенных горизонтов могло происходить как за счет более спокойных условий накопления осадков, так и за счет иллювирования его из верхних горизонтов в процессе педогенеза, в последнем случае смектит частично может иметь почвенное происхождение.

Парамагнитные признаки доломита изученных профилей калькретов дополняют минералогическую характеристику палеопочв. Низкая заселенность Mg-позиций доломита ионами Mn^{2+} ($Mn^{2+}(Mg)/Mn^{2+}(Ca) = 0.7–1.8$) может быть объяснена высокой степенью пересыщения почвенных вод доломитом и его быстрой кристаллизацией [16, 20]. В этих условиях ионы Mn^{2+} не «успевают» занять наиболее предпочтительные для них Mg-позиции, распределяясь примерно одинаково по Ca- и Mg-позициям в структуре формирующегося доломита. Эти особенности доломита наряду с его микро-криптокристаллическим размером зерен свидетельствуют о первичном, сингенетическом происхождении доломита в почвенных профилях изученных разрезов.

Спектры ЭПР сульфатных центров в доломитах обоих профилей идентичны таковым нижнепермских (ассельских) лагунно-морских доломитов, ассоциирующихся с ангидритом [21]. Эти сульфатные парамагнитные центры принадлежат ангидриту, присутствие которого в почвенном доломите указывает на засоленность почвенных вод. Несмотря на различие фациальных обстановок формирования этих доломитов, физико-химические условия их кристаллизации были близкими. Наличие органических и фосфатных радикалов в доломите обоих калькретов позволяет предположить участие бактериальных сообществ в их формировании.

Резкая аридизация климата в Оренбургском Приуралье во второй половине вятского времени [22] привела к изменению характера осадконакопления, перестройке растительных и почвенных систем. Главным генетическим типом осадков этого времени становится равнинный пролювий [23], представляющий собой

отложения смешанного глинисто-алеврито-песчаного состава, формирующиеся в результате паводковых разливов при сезонном выпадении атмосферных осадков. Поверхность этих отложений в периоды ослабления или отсутствия осадконакопления покрывалась растительностью с формированием в их верхней части карбонатных почв (каличе), связанных с интенсивным испарением почвенных вод.

Оценка среднегодового количества осадков по геохимическим индикаторам обычно не применяется к палеопочвам с массивным карбонатным горизонтом [24]. Некоторые исследователи [25] считают, что карбонатные горизонты в почвах формируются при среднегодовом количестве осадков менее 760 мм; калькреды же в целом формируются в аридном/полуаридном климате и верхняя граница среднегодового количества осадков при их формировании оценивается в 600–1000 мм [26]. Поэтому из всех оценок по геохимическим индикаторам нами были выбраны те, которые используются для аридных почв и палеопочв, в том числе с хорошо развитыми карбонатными горизонтами. Такие оценки для профилей разреза Туембетка и Боевая Гора были получены с использованием геохимических индексов CALMAG [13] – 465 ± 108 и 700 ± 108 мм, а также $\Sigma_{\text{bases}}/\text{Al}$ [14] – 607 ± 235 и 684 ± 235 мм соответственно (табл. 2). Средние значения по двум индексам с учетом перекрытия их среднеквадратических отклонений составили 473 и 699 мм/год для профилей разреза Туембетка и Боевая Гора соответственно. Среднегодовые температуры, рассчитанные по геохимическим индикаторам иллювиальных почвенных горизонтов (табл. 2), сопоставимы с таковыми современных субтропиков (например, в Нью-Мексико, США, с развитыми современными каличе среднегодовые температуры составляют $+12...+14$ °С).

Таким образом, предварительная оценка палеоклиматических особенностей по химическому составу почвоматеринских пород изученных профилей показала наличие полуаридного субтропического климата на территории Оренбургского Приуралья в конце вятского времени.

Различное строение и мощности двух изученных профилей калькредов можно объяснить не только разной степенью их зрелости, но и особенностями осадконакопления на территориях их развития. Профиль разреза Боевая Гора формировался одновременно с накоплением алевритового осадка на территории, периодически затопляемой паводковыми водами, испытывающей слабые тектонические опускания. Именно этим объясняется отсутствие в профиле нодулярного горизонта и постепенное увеличение карбонатности вверх по профилю. В периоды затопления неконсолидированные песчано-алевритовые осадки перерабатывались животными-илоедами, а в периоды осушения в них из почвенных вод осаждались карбонаты (доломит). Размеры и морфология доломитовых зерен, а также микропримесный состав доломита свидетельствуют о его быстрой кристаллизации с возможным прямым или косвенным участием бактериальных сообществ. Эти процессы сопровождали процесс почвообразования, скорость которого превышала скорость накопления осадков на данной территории. Перерыв в осадконакоплении привел к консолидации верхней части осадка и превращению ее в калькред.

Калькред из разреза Туембетка формировался на плоской, относительно приподнятой и тектонически стабильной территории [8], достигнув максимальной степени зрелости. Скорость педогенеза здесь была намного больше скорости накопления глинистых осадков [27] и процесс формирования калькрета был

намного продолжительнее, чем в разрезе Боевая Гора. Макро- и микроскопические признаки калькрета свидетельствуют о росте карбонатных нодулей и их последующем слиянии внутри суглинистой почвоматеринской породы, а также о достижении калькретом приповерхностных частей почвы в процессе его роста. Субгоризонтальная ориентация корневых пустот в верхней части калькрета означает его консолидацию еще в процессе формирования, препятствующую проникновению корней вглубь.

Общими минералогическими признаками для изученных калькретов является их доломитовый состав, микритовый размер (1–3 мкм) и идиоморфная форма доломитовых зерен, а также особенности парамагнитных центров доломита. Эти признаки свидетельствуют о быстрой или «усиленной» кристаллизации [7] доломита, которая могла контролироваться не только интенсивным испарением почвенных вод, но и парциальным давлением CO_2 в атмосфере, биологической активностью микроорганизмов, химизмом почвенных вод и другими факторами. Доломитовые палеопочвы (долокреты) нередко встречаются в красноцветных аридных и полуаридных отложениях средней и верхней перми разных регионов [7, 28–30] и во многих случаях доломит в них рассматривается как первичный минерал, осаждающийся из почвенных вод. Результаты, полученные в данной работе, также подтверждают эти выводы.

Заключение

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Морфологические и парамагнитные признаки доломита изученных калькретов свидетельствуют о его первичной природе и быстрой кристаллизации из почвенных вод. Наряду со следами и остатками корней, являющимися главными почвенными признаками, в профилях калькретов встречены следы грибной и бактериальной биоты, которая, развиваясь в симбиозе с корневой системой, могла создавать благоприятные условия для осаждения почвенного доломита.

2. Профиль калькрета разреза Боевая Гора формировался на песчано-алевритовых осадках равнинного пролювия в результате их одновременного накопления и почвообразования на территории, испытывающей слабые тектонические опускания. Затвердевание калькрета произошло после накопления почвоматеринского осадка.

3. Профиль калькрета разреза Туембетка формировался на глинистых осадках плоских бессточных относительно приподнятых равнин на тектонически стабильной территории, где скорость педогенеза намного превышала скорость накопления осадков. Затвердевание калькрета происходило в процессе его роста и развития в почвенном профиле.

4. Формирование изученных калькретов происходило в условиях субтропического полуаридного климата и засоленности почвенных вод.

5. Биогенный фактор формирования доломитовых калькретов требует дальнейшего изучения.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета.

Литература

1. *Холодов В.Н.* Каличе – карбонатное пограничное почвенное новообразование // Литология и полезные ископаемые. – 2007. – № 3. – С. 273–285.
2. *Wright V.P., Tucker M.E.* Calcretes: An introduction // Intern. Assoc. Sedimentol. Repr. Ser. – 1991. – V. 2. – P. 1–22.
3. *Wright V.P.* Calcrete // Nash D., McLaren S. (Eds.) Geochemical Sediments and Landscapes. – Oxford, UK: Blackwell, 2007. – P. 10–45.
4. *Klappa C.F.* Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance // Sedimentology. – 1980. – V. 27, No 6. – P. 613–629. – doi: 10.1111/j.1365-3091.1980.tb01651.x.
5. *Твердохлебов В.П.* Каличе в континентальных красноцветных формациях на востоке Европейской части России // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2001. – № 6. – С. 145–148.
6. *Retallack G.J.* Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology. – Oxford: Blackwell Sci., 2001. – xi+404 p. – doi: 10.1002/9780470698716.
7. *Kearsey T., Twitchett R.J., Newell A.J.* The origin and significance of pedogenic dolomite from the Upper Permian of the South Urals of Russia // Geol. Mag. – 2012. – V. 149, No 2. – P. 291–307. – doi: 10.1017/S0016756811000926.
8. *Newell A.J., Benton M.J., Kearsey T., Taylor G., Twitchett R.J., Tverdochlebov V.P.* Calcretes, fluviolacustrine sediments and subsidence patterns in Permo-Triassic salt-walled minibasins of the south Urals, Russia // Sedimentology. – 2012. – V. 59, No 5. – P. 1659–1676. – doi: 10.1111/j.1365-3091.2012.01320.x.
9. *Surkov M.V., Benton M.J., Twitchett R.J., Tverdokhlebov V.P., Newell A. J.* First occurrence of footprints of large therapsids from the Upper Permian of European Russia // Palaeontology. – 2007. – V. 50, No 3. – P. 641–652. – doi: 10.1111/j.1475-4983.2007.00647.x.
10. *Machette M.N.* Calcic soils of the southwestern United States // Weide D.L. (Ed.) Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. V. 203. – Geol. Soc. Am., 1985. – P. 1–21. – doi: 10.1130/SPE203-p1.
11. *Retallack G.J.* Field recognition of paleosols // Reinhardt J., Sigleo W.R. (Eds.), Paleosols and Applications. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. V. 216. – Geol. Soc. Am., 1988. – P. 1–20.
12. *Mack G.H., James W.C., Monger H.C.* Classification of paleosols // Geol. Soc. Am. Bull. – 1993. – V. 105. – P. 129–136. – doi: 10.1130/0016-7606(1993)105<0129:COP>2.3.CO;2.
13. *Nordt L.C., Driese S.D.* New weathering index improves paleorainfall estimates from Vertisols // Geology. – 2010. – V. 38, No 5. – P. 407–410. – doi: 10.1130/G30689.1.
14. *Sheldon N.D., Tabor N.J.* Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols // Earth-Sci. Rev. – 2009. – V. 95, No 1–2. – P. 1–52. – doi: 10.1016/j.earscirev.2009.03.004.
15. *Sheldon N., Retallack G., Tanaka S.* Geochemical climofunctions from North American soils and application to paleosols across the Eocene–Oligocene boundary in Oregon // J. Geol. – 2002. – V. 110, No 6. – P. 687–696. – doi: 10.1086/342865.
16. *Муравьев Ф.А.* Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов РТ: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Казань, 2007. – 24 с.
17. *Муравьев Ф.А., Винокуров В.М., Галеев А.А., Булка Г.Р., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М.* Парамагнетизм и природа рассеянного органического вещества в пермских отложениях Татарстана // Георесурсы. – 2006. – № 2. – С. 40–45.

18. *Franco R.W.A., Pelegrini F., Rossi A.M.* Identification and valuation of paramagnetic radicals in natural dolomites as an indicator of geological events // *Phys. Chem. Miner.* – 2003. – V. 30. – P. 39–43. – doi 10.1007/s00269-002-0281-3.
19. *Casado A.I., Alonso-Zarza A.M., La Iglesia A.* Morphology and origin of dolomite in paleosols and lacustrine sequences. Examples from the Miocene of the Madrid Basin // *Sediment. Geol.* – 2014. – V. 312. – P. 50–62. – doi: 10.1016/j.sedgeo.2014.07.005.
20. *Муравьев Ф.А.* Ритмичность строения карбонатных разрезов пермских отложений Татарстана, выявляемая с помощью метода ЭПР // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки.* – 2007. – Т. 149, кн. 4. – С. 152–159.
21. *Galeev A.A., Vinokurov V.M., Mouraviev F.A., Osin Yu.N.* EPR and SEM study of organo-mineral associations in Lower Permian evaporite dolomites // *Appl. Magn. Reson.* – 2009. – V. 35, No 3. – P. 473–479. – doi: 10.1007/s00723-009-0178-0.
22. *Твердохлебов В.П., Твердохлебова Г.И., Сурков М.В.* Континентальные палеоэкосистемы рубежа палеозоя и мезозоя. Статья 2. Позднетатарское (северодвинское и вятское) время, юго-восток Восточно-Европейской платформы // *Изв. вузов. Геология и разведка.* – 2006. – № 1. – С. 3–12.
23. *Твердохлебов В.П.* Равнинный пролювий – генотип аридных и семиаридных зон // *Изв. вузов. Геология и разведка.* – 2003. – № 1. – С. 22–24.
24. *Tabor N.J., Myers T.S.* Paleosols as indicators of paleoenvironment and paleoclimate // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* – 2015. – V. 43. – P. 333–361. – doi: 10.1146/annurev-earth-060614-105355.
25. *Royer D.L.* Depth to pedogenic carbonate horizon as a paleoprecipitation indicator? // *Geology.* – 1999. – V. 27, No 12. – P. 1123–1126. – doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<1123:DTPCHA>2.3.CO;2.
26. *Alonso-Zarza A.M.* Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record // *Earth Sci. Rev.* – 2003. – V. 60, No 3–4. – P. 261–298. – doi: 10.1016/S0012-8252(02)00106-X.
27. *Wright V.P.* Estimating rates of calcrete formation and sediment accretion in ancient alluvial deposits // *Geol. Mag.* – 1990. – V. 127, No 3. – P. 273–276. – doi: 10.1016/S0012-8252(02)00106-X.
28. *De La Horra R., Benito M. I., Lopez-Gomez J., Arche A., Barrenechea J. F., Luque J.* Palaeoenvironmental significance of Late Permian palaeosols in the South-Eastern Iberian Ranges, Spain // *Sedimentology.* – 2008. – V. 55, No 6. – P. 1849–1873. – doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.00969.x.
29. *Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Khasanova N.M., Nizamutdinov N.M., Trifonov A.A.* Red paleosols in the key sections of the Middle and Upper Permian of the Kazan Volga region and their paleoclimatic significance // *Paleontol. J.* – 2015. – V. 49, No 10. – P. 1150–1159. – doi: 10.1134/S0031030115110064.
30. *Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Eskin A.A., Kropotova T.V.* Paleosols and host rocks from the Middle–Upper Permian reference section of the Kazan Volga region, Russia: A case study // *Palaeoworld.* – 2020. – V. 29, No 2. – P. 405–425. – doi: 10.1016/j.palwor.2019.05.004.

Поступила в редакцию
08.07.2021

Муравьев Федор Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: fedor.mouraviev@kpfu.ru

Хасанова Наиля Мидхатовна, кандидат физико-математических наук, инженер НИЛ стратиграфии нефтегазоносных резервуаров

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *Nailia.Khasanova@kpfu.ru*

Юнусова Эльвина Зарвановна, инженер 3 категории

Инжиниринговая компания «Спектр»
ул. Космонавтов, д. 44, г. Казань, 420061, Россия
E-mail: *elvina.yunusova.2015@mail.ru*

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2021, vol. 163, no. 3, pp. 371–389

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.3.371-389

**Dolomitic Calcretes from the Changhsignian (Upper Permian)
Red Beds of the Orenburg Cis-Urals, Russia**

F.A. Mouraviev^{a}, N.M. Khasanova^{a**}, E.Z. Yunusova^{b***}*

^a*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

^b*“Spectrum” Engineering Company, Kazan, 420061 Russia*

E-mail: ^{*}*fedor.mouraviev@kpfu.ru*, ^{**}*Nailia.Khasanova@kpfu.ru*,
^{***}*elvina.yunusova.2015@mail.ru*

Received July 8, 2021

Abstract

The dolomitic calcrete profiles from the Boyevaya Gora and Tuyembetka sections, both represented by the uppermost Permian (Changhsignian) red continental deposits from the Orenburg Cis-Urals, were studied by sedimentological, mineralogical, and geochemical methods.

Calcrete from the Boyevaya Gora section formed on sandy-silty flat alluvial fan/sheetflood sediments, under the setting of slow subsidence of the territory. Calcrete from the Tuyembetka section developed on relatively elevated mudflat/playa under a stable tectonic regime.

The subtropical semi-arid climate was reconstructed based on the geochemical indices from the illuvial paleosol horizons. The presence of anhydrite in the calcrete profiles indicates the saline conditions of soil waters. CryprocrySTALLINE idiomorphic grains (1–3 μm) and the low Mn²⁺ partitioning ratio between the Ca- and Mg-position in dolomite (0.7–1.8) suggest its primary origin and a rapid crystallization from the soil waters. Free organic radicals and phosphorus-associated anion centers in the pedogenic dolomite identified by the electron paramagnetic resonance (EPR) analysis assume a biogenic contribution to the formation of dolomite.

Fossilized fungal hyphae and bacteriomorphs along with the fragments of plant roots were detected by scanning electron microscopy (SEM) in both calcretes. The bacterial origin of dolomite from the studied calcretes was discussed.

Keywords: calcrete, dolomite, paramagnetic centers, bioturbation, paleosol, Vyatkian Stage, Permian, Orenburg Cis-Urals

Acknowledgements. The study was supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program.

Figure Captions

- Fig. 1. Location of the study objects (*a*) and stratigraphic position of the calcrete profiles (*b*) in the Boyevaya Gora (BG-28) and Tuyembetka (TM12) sections: BG – Boyevaya Gora, TM – Tuyembetka.
- Fig. 2. Calcrete from the Tuyembetka section: *a* – general view: 1 – Bw horizon, mudstone, 2 – Bk horizon, dolomitic nodules in the chalky mass; K horizon: 3 – coalesced dolomitic nodules, 4 – prismatic subhorizon, 5 – massive blocky subhorizon, 6 – laminar and brecciated subhorizons; *b* – sketch of the vertical profile; photomicrographs: *c* – concentration of silt grains in clayey-ferruginous zones as a result of bioturbation; *d* – dolomitic clots/nodules with circum-granular cracks; *e* – brecciated subhorizon, the cracks in dolomitic filled in calcisparite.
- Fig. 3. Calcrete from the Boyevaya Gora section: *a* – general view: 1 – D horizon, laminated siltstone, 2 – Bw horizon, fine blocky siltstone, 3 – Bk horizon, coarse blocky dolomitic siltstone, 4 – K horizon, massive dolomite; *b* – sketch of the vertical profile; photomicrographs: *c* – bioturbation of the silty matrix by roots (light zone); *d* – root channels filled with clayey-ferruginous mass and calcisparite; *e* – oval cross-section of the *Skolithos* (?) burrow with displaced detrital quartz grains. See legend in Fig. 2.
- Fig. 4. SEM photomicrographs of (*a*) fossilized fungal hyphae, the upper part of dolomitic calcrete from the Tuyembetka section; (*b*) crypto-microcrystalline idiomorphic grains of dolomite coated by bacterial coccoid-like forms (arrowed), the upper part of dolomitic calcrete from the Boyevaya Gora section. SEM, secondary electrons.
- Fig. 5. SEM photomicrographs of (*a*) fossilized fragment of plant tissue (presumably, the root of a plant) with cryptocrystalline dolomite grains; the elemental analysis spectrum and percentage of chemical elements (*b*); the area of spectrum recording is marked by white circle. The upper part of dolomitic calcrete from the Boyevaya Gora section (SEM, secondary electrons).
- Fig. 6. XRD spectra of the muddy fraction of the Bw horizon (1) and the host rocks from the Tuyembetka (*a*) and Boyevaya Gora (*b*) sections. Abbreviations: Sm – smectite, Mus – muscovite, Ch – chlorite, An – analcime, Q – quartz, Ab – albite, H – hematite. Samples saturated with ethylene glycol.
- Fig. 7. EPR centers in the rocks of upper parts of the calcrete profiles: *a* – Tuyembetka, *b* – Boyevaya Gora; 1 – spectrum of Mn^{2+} ions in dolomite, the wide line 1 in the 1b window corresponds to the finely dispersed iron oxides, the raw sample; 2 – spectrum of sulfate ion-radicals in anhydrite ($1 - SO_2^-$, $2 - SO_3^-$) and phosphate ion-radical ($3 - PO_2^{2-}$) in dolomite, the raw sample; 3 – spectrum of free organic radical, the heat-treated sample at 600 °C. Magnetic field is shown in 0.1 G.

References

1. Kholodov V.N. Caliches: A newly-formed boundary carbonate material in soils. *Lithol. Miner. Resour.*, 2007, vol. 42, no. 3, pp. 246–256. doi: 10.1134/S0024490207030042.
2. Wright V.P., Tucker M.E. Calcretes: An introduction. *Int. Assoc. Sedimentol. Repr. Ser.*, 1991, vol. 2, pp. 1–22.
3. Wright V.P. Calcrete. In: Nash D., McLaren S. (Eds.) *Geochemical Sediments and Landscapes*. Oxford, UK, Blackwell, 2007, pp. 10–45.
4. Klappa C.F. Rhizoliths in terrestrial carbonates: Classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology*, 1980, vol. 27, no. 6, pp. 613–629. doi: 10.1111/j.1365-3091.1980.tb01651.x.
5. Tverdochlebov V.P. Caliche in the continental red-bed formations on the east of European Russia. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Geol. Razved.*, 2001, no. 6, pp. 145–148. (In Russian)
6. Retallack G.J. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. Oxford, Blackwell Sci., 2001. xi + 404 p. doi: 10.1002/9780470698716.
7. Kearsley T., Twitchett R.J., Newell A.J. The origin and significance of pedogenic dolomite from the Upper Permian of the South Urals of Russia. *Geol. Mag.*, 2012, vol. 149, no. 2, pp. 291–307. doi: 10.1017/S0016756811000926.
8. Newell A.J., Benton M.J., Kearsley T., Taylor G., Twitchett R.J., Tverdochlebov V.P. Calcretes, fluvio-lacustrine sediments and subsidence patterns in Permo-Triassic salt-walled minibasins of the south Urals, Russia. *Sedimentology*, 2012, vol. 59, no. 5, pp. 1659–1676. doi: 10.1111/j.1365-3091.2012.01320.x.

9. Surkov M.V., Benton M.J., Twitchett R.J., Tverdokhlebov V.P., Newell A.J. First occurrence of footprints of large therapsids from the Upper Permian of European Russia. *Palaeontology*, 2007, vol. 50, no. 3, pp. 641–652. doi: 10.1111/j.1475-4983.2007.00647.x.
10. Machette M.N. Calcic soils of the southwestern United States. In: Weide D.L. (Ed.) *Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States. Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* Geological Society of America, 1985, vol. 203, pp. 1–21. doi: 10.1130/SPE203-p1.
11. Retallack G.J. Field recognition of paleosols. In: Reinhardt J., Sigleo W.R. (Eds.) *Paleosols and Applications. Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* Geol. Soc. Am., 1988, vol. 216, pp. 1–20.
12. Mack G.H., James W.C., Monger H.C. Classification of paleosols. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1993, vol. 105, no. 2, pp. 129–136. doi: 10.1130/0016-7606(1993)105<0129:COP>2.3.CO;2.
13. Nordt L.C., Driese S.D. New weathering index improves paleorainfall estimates from Vertisols. *Geology*, 2010, vol. 38, no. 5, pp. 407–410. doi: 10.1130/G30689.1.
14. Sheldon N.D., Tabor N.J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Sci. Rev.*, 2009, vol. 95, nos. 1–2, pp. 1–52. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.03.004.
15. Sheldon N., Retallack G., Tanaka S. Geochemical climofunctions from North American soils and application to paleosols across the Eocene–Oligocene boundary in Oregon. *J. Geol.*, 2002, vol. 110, no. 6, pp. 687–696. doi: 10.1086/342865.
16. Mouraviev F.A. Lithological and mineralogical characterization of the Permian marker carbonate horizons of the Republic of Tatarstan. *Extended Abstract of Cand. Geol.-Mineral. Sci. Diss.* Kazan, 2007. 24 p. (In Russian)
17. Mouraviev F.A., Vinokurov V.M., Galeev A.A., Bulka G.R., Nizamutdinov N.M., Khasanova N.M. Paramagnetism and the nature of dispersed organic matter in the Permian sediments of Tatarstan. *Georesursy*, 2006, no. 2, pp. 40–45. (In Russian)
18. Franco R.W.A., Pelegrini F., Rossi A.M. Identification and valuation of paramagnetic radicals in natural dolomites as an indicator of geological events. *Phys. Chem. Miner.*, 2003, vol. 30, pp. 39–43. doi: 10.1007/s00269-002-0281-3.
19. Casado A.I., Alonso-Zarza A.M., La Iglesia A. Morphology and origin of dolomite in paleosols and lacustrine sequences. Examples from the Miocene of the Madrid Basin. *Sediment. Geol.*, 2014, vol. 312, pp. 50–62. doi: 10.1016/j.sedgeo.2014.07.005.
20. Mouraviev F.A. Rhythmic construction of the Permian carbonate sections of Tatarstan, revealed by means of EPR method. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2007, vol. 149, no. 4, pp. 152–159. (In Russian)
21. Galeev A.A., Vinokurov V.M., Mouraviev F.A., Osin Yu.N. EPR and SEM study of organo-mineral associations in Lower Permian evaporite dolomites. *Appl. Magn. Reson.*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 473–479. doi: 10.1007/s00723-009-0178-0.
22. Tverdokhlebov V.P., Tverdokhlebova G.I., Surkov M.V. Continental paleoecosystems at the Paleozoic and Mesozoic boundary. Paper 2. The Upper Tatarian (Severodvinian and Vjatikian) time, the southwest of the East European Platform. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Geol. Razved.*, 2006, no. 1, pp. 3–12. (In Russian)
23. Tverdokhlebov V.P. The proluvium of plains as a genotype of arid and semiarid zones. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Geol. Razved.*, 2003, no. 1, pp. 22–24. (In Russian)
24. Tabor N.J., Myers T.S. Paleosols as indicators of paleoenvironment and paleoclimate. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 2015, vol. 43, pp. 333–361. doi: 10.1146/annurev-earth-060614-105355.
25. Royer D.L. Depth to pedogenic carbonate horizon as a paleoprecipitation indicator? *Geology*, 1999, vol. 27, no. 12, pp. 1123–1126. doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<1123:DTPCHA>2.3.CO;2.
26. Alonso-Zarza A.M. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth Sci. Rev.*, 2003, vol. 60, nos. 3–4, pp. 261–298. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00106-X.
27. Wright V.P. Estimating rates of calcrete formation and sediment accretion in ancient alluvial deposits. *Geol. Mag.*, 1990, vol. 127, no. 3, pp. 273–276. doi: 10.1016/S0012-8252(02)00106-X.
28. De La Horra R., Benito M. I., Lopez-Gomez J., Arche A., Barrenechea J. F., Luque J. Palaeoenvironmental significance of Late Permian palaeosols in the South-Eastern Iberian Ranges, Spain. *Sedimentology*, 2008, vol. 55, no. 6, pp. 1849–1873. doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.00969.x.

29. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Khasanova N.M., Nizamutdinov N.M., Trifonov A.A. Red paleosols in the key sections of the Middle and Upper Permian of the Kazan Volga region and their paleoclimatic significance. *Paleontol. J.*, 2015, vol. 49, no. 10, pp. 1150–1159. doi: 10.1134/S0031030115110064.
30. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Eskin A.A., Kropotova T.V. Paleosols and host rocks from the Middle–Upper Permian reference section of the Kazan Volga region, Russia: A case study. *Palaeoworld*, 2020, vol. 29, no. 2, pp. 405–425. doi: 10.1016/j.palwor.2019.05.004.

Для цитирования: Муравьев Ф.А., Хасанова Н.М., Юнусова Э.З. Доломитовые калькреды из красноцветных отложений верхней перми Оренбургского Приуралья // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 3. – С. 371–389. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.3.371-389.

For citation: Mouraviev F.A., Khasanova N.M., Yunusova E.Z. Dolomitic calcretes from the Changhsianian (Upper Permian) red beds of the Orenburg Cis-Urals, Russia. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 3, pp. 371–389. doi: 10.26907/2542-064X.2021.3.371-389. (In Russian)