

УДК 551.735.552.54.2

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-5-694-704

## Палеопочвы в отложениях Каширского горизонта на юго-востоке Русской плиты (Республика Башкортостан): характеристика, палеоэкологическая и стратиграфическая значимость

Р. В. Мирнов<sup>1</sup>, Т. В. Алексеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО “РН-БашНИПИ-нефть” 450006, г. Уфа, ул. Ленина, 86/1, e-mail: MirnovRV@bnipi.rosneft.ru

<sup>2</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, г. Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2, e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su

Поступила в редакцию 14.04.2022 г., принята к печати 09.06.2022 г.

**Объект исследования.** Палеопочвы в отложениях каширского горизонта московского яруса карбона на территории юга Восточно-Европейской платформы. **Цель.** Изучение особенностей строения палеопочв и их вещественного состава. **Материалы и методы.** Работа основана на изучении керн глубоких скважин. Исследования включали в себя детальное описание керна и шлифов, рентгенофазовый анализ и растровую электронную микроскопию. **Результаты.** Суммарно в разрезе каширского горизонта выделены семь уровней развития палеопочв, которые прослеживаются на расстоянии до 120 км. Среди них различают четыре типа палеопочв, три из которых развиты на доломитовом субстрате. Доломиты имеют следующие характерные особенности: микрокристаллическая структура с размером кристаллов 5–10 мкм, преимущественно идиоморфная форма кристаллов, высокая межкристаллическая пористость (до 38%), включения галита, гипса и ангидрита, повсеместное распространение нитевидных образований сепиолита. В палеопочвах на известняковом субстрате обнаружены бета-калькреты с *Microcodium*. Изучение ископаемых корней растений (ризолитов) показало связь их типов с составом субстрата. Так, на доломитовом субстрате встречены петрифицированные ризолиты и ризолиты-слепки, заполненные осадочной породой, часто с развитыми глинистыми кутанами, тогда как на известняковом субстрате развиты кальцитовые трубки-тубулы вокруг корневых каналов, к которым приурочены многочисленные образования *Microcodium*. **Выводы.** Выявленные особенности состава и строения палеопочв, такие как присутствие инситного галита и сульфатов (ангидрита и гипса), сепиолита, а также развитие бета-калькрегов, позволяют сделать вывод о семиаридном климате в каширском веке на изучаемой территории.

**Ключевые слова:** Восточно-Европейская платформа, каширский горизонт, поздний карбон, палеопочвы, ризолиты, калькреты, микрокодии

## Paleosols in the Kashira deposits in the south of the East European Craton (Republic of Bashkortostan): characteristics, paleoecological and stratigraphic significance

Roman V. Mirnov<sup>1</sup>, Tatiana V. Alekseeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО “RN-BashNIPI-neft” 86/1 Lenin st., Ufa 450006, Russia, e-mail: MirnovRV@bnipi.rosneft.ru

<sup>2</sup>Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya st., Pushchino, Moscow region 142290, Russia, e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su

Received 14.04.2022, accepted 09.06.2022

**Research subject.** Paleosols discovered in the Kashira sequence of the Pennsylvanian in the southeastern part of the East European platform. **Aim.** To study the structure and composition of the paleosols. **Materials and methods.** Core material from wells was studied by X-ray analysis, scanning electron microscopy and a detailed description of the core and thin sections. **Results.** Four types of paleosols were identified, three of which are developed on a dolomite substrate. The dolomites are characterized by the following features: microcrystalline structure with a crystal size of 5–10 microns; predominantly euhedral form of crystals, high intercrystalline porosity (up to 38%), inclusions of in situ halite, gypsum and

**Для цитирования:** Мирнов Р.В., Алексеева Т.В. (2022) Палеопочвы в отложениях Каширского горизонта на юго-востоке Русской плиты (Республика Башкортостан): характеристика, палеоэкологическая и стратиграфическая значимость. *Литосфера*, 22(5), 694–704. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-694-704>

**For citation:** Mirnov R.V., Alekseeva T.V. (2022) Paleosols in the Kashira deposits in the south of the East European Craton (Republic of Bashkortostan): characteristics, paleoecological and stratigraphic significance. *Lithosphere (Russia)*, 22(5), 694–704. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-694-704>

anhydrite, ubiquitous filaments of sepiolite. In paleosols based on a limestone substrate, beta-calcretes with *Microcodium* were found. The study of fossil roots (rhizoliths) revealed the correlation between their types and substrate composition. Thus, petrified rhizoliths and root casts filled with sedimentary rock and developed clay cutans were found on a dolomite substrate, while calcite tubules around root channels were developed on a limestone substrate. The latter show the presence of abundant *Microcodium* formations. *Conclusions.* The revealed morphological and compositional features of the paleosols under study, such as the presence of in situ halite and sulfates (anhydrite and gypsum), sepiolite, and beta calcretes, point to the semiarid climate during the Kashira age on the area under study.

**Keywords:** *East European Craton, Kashira deposits, Late Carboniferous, paleosols, rhizoliths, calcretes, Microcodium*

## ВВЕДЕНИЕ

Ископаемые почвы являются индикаторами перерывов в осадконакоплении и содержат важную информацию о палеоклимате, палеорельефе, палеоэкологии, времени и условиях их формирования. Исследование состава и распространения палеопочв (ПП) позволяет прогнозировать характер диагенетических преобразований пород субстрата и, как следствие, изменения их фильтрационно-емкостных свойств.

Палеопочвенные комплексы в толще терригенно-карбонатных морских осадков имеют низкий потенциал сохранности, обусловленный в первую очередь эрозионными процессами на стадии морских трансгрессий. Сохранению палеопочв в московском веке карбона способствовали условия выровненного рельефа Восточно-Европейской платформы, на большей части которой развивалось мелководное эпиконтинентальное море.

В статье рассмотрены особенности строения палеопочв каширского горизонта московского яруса, выявленные по результатам изучения материала керн глубоких скважин, пробуренных на территории Бирской седловины и западной части Башкирского свода. Современные методы отбора изолированного керна позволили сохранить полные разрезы изучаемых отложений, включая сыпучие породы, поэтому приведенный материал является уникальным объектом исследования.

В литературе подробно описаны палеопочвы московского яруса, в том числе каширского горизонта в стратотипической местности (Kabanov, 2003; Kabanov, Baranova, 2007; Kabanov et al., 2010; Алексеева и др., 2010; Алексеева, 2020а). Учитывая огромные размеры эпиконтинентального бассейна каширского времени (Иванова, Хворова, 1955), изучение разновозрастных палеопочв на 1200 км к востоку от упомянутых представляет несомненный научный интерес. Он отчасти обусловлен нарастающим вниманием к исследованию континентальных отложений (в том числе палеопочв) для целей детализации обстановок осадконакопления, а также стратиграфии (педостратиграфии) (Retallack, 2009; и др.). Педостратиграфический подход давно

и успешно используется для целей стратиграфии и корреляции четвертичных отложений, в частности при изучении лессового-почвенных комплексов плейстоцена. В отношении дочетвертичных отложений, для которых лито-, био- и отчасти событийная стратиграфия является основной, применение данного инструмента остается на стадии разработки (Алексеева, 2020а). Педостратиграфический подход, например, был использован Б.П. Кабановым с соавторами (Kabanov, 2003; Kabanov, Baranova, 2007) для детализации стратиграфической шкалы московского и касимовского ярусов карбона для территории Подмосквовного осадочного бассейна. Авторами выделены 10 уровней палеопочв этого временного интервала. Детально рассмотренная палеопочва в кровле васькинской свиты подольского горизонта московского яруса, прослеженная и морфологически выдержанная в трех карьерах на территории Коломенского района Московской области, выступает яркой демонстрацией перспективности этого инструмента (Алексеева и др., 2010; Kabanov et al., 2010).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой исследований послужил керновый материал скважин диаметром 100 мм на северо-западе Республики Башкортостан. Выполнены детальное литологическое описание более 500 пог. м материала керна и изучение прозрачных шлифов под поляризационном микроскопом. Результаты оценки керна сопоставлены с каротажными кривыми, проведен циклостратиграфический анализ. Благодаря детальной корреляции скважин с керном удалось проследить латеральную изменчивость пород и получить сводный непрерывный разрез каширского горизонта.

Для исследования структурных особенностей и химического состава пород проводилось исследование сколов на растровом электронном микроскопе (РЭМ) марки Q250 SEM FEI (Thermo Fisher Scientific) с микрозондированием. Для образцов применялось напыление золотом. Минералогический состав палеопочв изучен методом рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3, CuK $\alpha$ -излучение, Ni-фильтр).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отложения каширского горизонта на изучаемой территории имеют горизонтальное залегание, характеризуются выдержанной мощностью около 70–80 м. Разрез сложен циклически построенными карбонатными осадками. Каждый цикл мощностью от 6 до 15 м представлен набором литологических типов пород – от спонголитов и пелитоморфных известняков в подошве циклитов до микрокристаллических доломитов и органогенно-обломочных известняков с признаками субаэрально-го прерыва в кровле.

Всего в разрезе каширского горизонта выделены семь уровней палеопочв, которые прослеживаются на больших расстояниях (до 120 км). В первую очередь они маркируются по наличию прослоев углеродистых глин. Уровням развития палеопочв отвечают максимумы на гамма-каротажной кривой, позволяющие проводить их корреляцию при отсутствии каменного материала (рис. 1). Палеопочва 7 (ПП7) приурочена к кровле каширского горизонта и совпадает с границей каширских и подольских отложений, палеонтологически обоснованной по фауне фораминифер (Архипова, 1999; Юнусов и др., 2000).

В керне встречаются многочисленные признаки выхода пород на поверхность. На рис. 2 представлено фото шлифа из образца органогенно-обломочного известняка (уровень ПП5) с признаками нахождения в вадозной зоне – выше уровня грунтовых вод. В образце наблюдаются характерные типы кальцитового цемента, образованные за счет просачивания метеорных вод через пористый осадок: микросталактитовый (синонимы: гравитационный, висячий) цемент в виде кристаллизованных капель, а также менисковый цемент, представляющий собой минерализованные пленки, соединяющие структурные компоненты породы.

Изученные палеопочвы разделены на четыре основные морфологические типа (рис. 3). Наиболее часто встречается разрез типа А: массивные микрокристаллические доломиты, в кровле брекчированные, имеющие резкую границу с перекрывающим их прослоем углеродистых глин. В отдельных случаях вместо слоя глин наблюдается тонкослоистая строматолитоподобная корка доломитового состава (тип Б). Разрез типа В сложен микрокристаллическими доломитами, слоистыми за счет развитых субгоризонтальных стилолитовых швов, с многочисленными ризолитами по корням мелких растений. Глинистость пород постепенно увеличивается к кровле, где разрез завершается тонким слоем глинистого темно-серого доломита. Разрез типа Г представлен плохо отсортированными органогенно-обломочными известняками, содержащими фрагменты разрушенного калькрета. Разрез увенчан прослоем темно-серых углеро-

дистых глин. В известняках отмечаются многочисленные образования *Microcodium*.

Выделенные типы палеопочв не приурочены к конкретным почвенным горизонтам – часто один тип сменяется другим по латерали. Пестрота почвенного покрова, вероятно, контролировалась палеорельефом, составом субстрата, степенью отдаленности от береговой линии и другими факторами.

В кровельной части палеопочв типов А, В и Г залегает маломощный рыхлый слой глин или глинистых известняков темно-серого цвета, представляющий собой сохранившуюся кровлю палеопочвы, материал которой обогащен органическим углеродом.

На рис. 4 представлена дифрактограмма материала, слагающего кровлю ППЗ – характерного образца для такого слоя. Палеопочва ППЗ отнесена к типу А (см. рис. 3). Основу образца составляет кальцит, дополнительно содержатся кварц и минералы глин (сметит, слюда и высокомагнезиальный силикат – сепиолит). Главным слоистым силикатом является сметит, насыщенный натрием ( $d_{001} = 12.81 \text{ \AA}$ ). Насыщение образца катионом Mg с последующим насыщением этиленгликолем привело к набуханию решетки сметита со смещением базального рефлекса к  $17 \text{ \AA}$ . Такие обработки позволили выявить в образце незначительное содержание сепиолита, который диагностируется по пику  $12.10 \text{ \AA}$ . Второй низкоинтенсивный пик сепиолита имеет  $d = 3.20 \text{ \AA}$ . При прокаливании образца до  $550^\circ\text{C}$  решетки и сметита, и сепиолита сжимаются до  $10 \text{ \AA}$ .

Исследование данного образца электронно-микроскопическим методом выявило наличие гипса. Синтезу сепиолита, по-видимому, предшествовала кристаллизация гипса, при которой в системе возросла концентрация иона Mg. Полагаем, что сепиолит является вторичным по отношению к сметиту минералом. В образце отсутствует доломит, несмотря на то что ППЗ залегает непосредственно на микрокристаллических доломитах.

Как уже говорилось, в изучаемом районе палеопочвы развиты преимущественно на доломитовом субстрате. Подстилающие палеопочвы доломиты имеют следующие характерные особенности строения:

- микрокристаллическая структура (размер кристаллов составляет в среднем 5–10 мкм);
- идиоморфная, реже гипидиоморфная форма кристаллов;
- высокая межкристаллическая пористость, в отдельных образцах достигающая до 38%;
- в составе пород присутствуют инситный галит, составляющий до 10%, а также гипс и ангидрит в виде желваков причудливой формы, субвертикальных жил и скоплений отдельных шестоватых кристаллов;
- в доломитах повсеместно распространены нитевидные образования сепиолита.

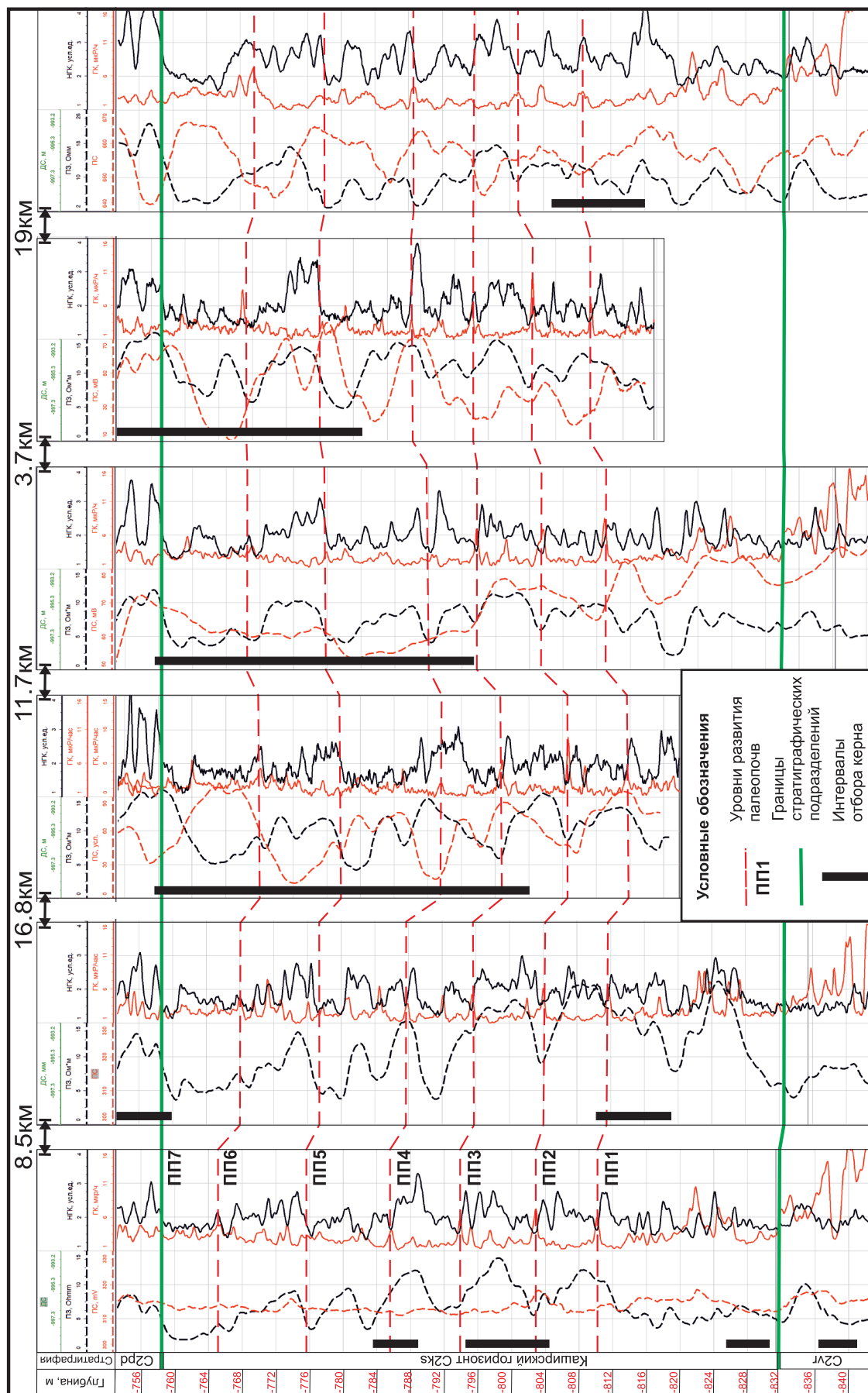
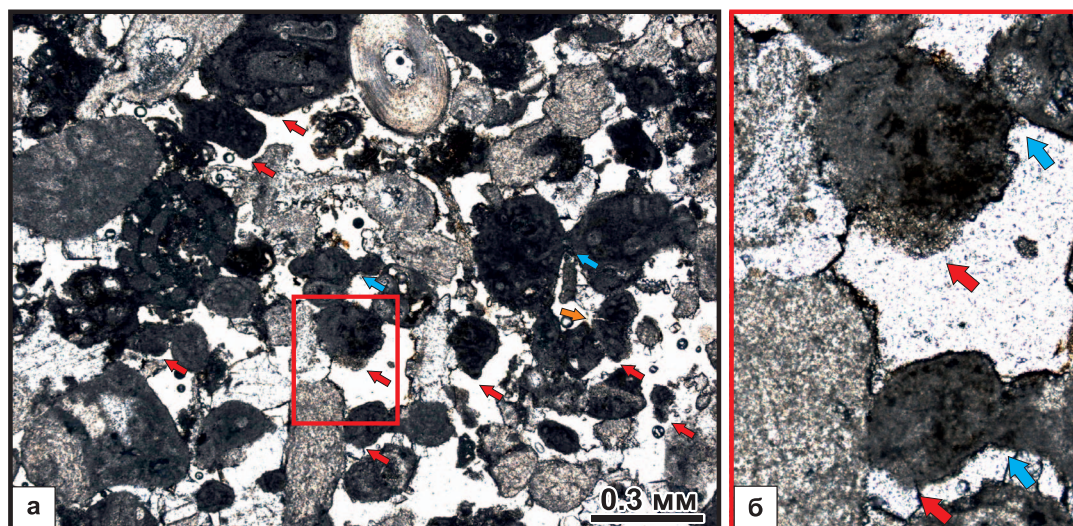


Рис. 1. Схема корреляции скважин с выделенными уровнями палеопочв.

Fig. 1. Well correlation scheme with marked levels of paleosol.



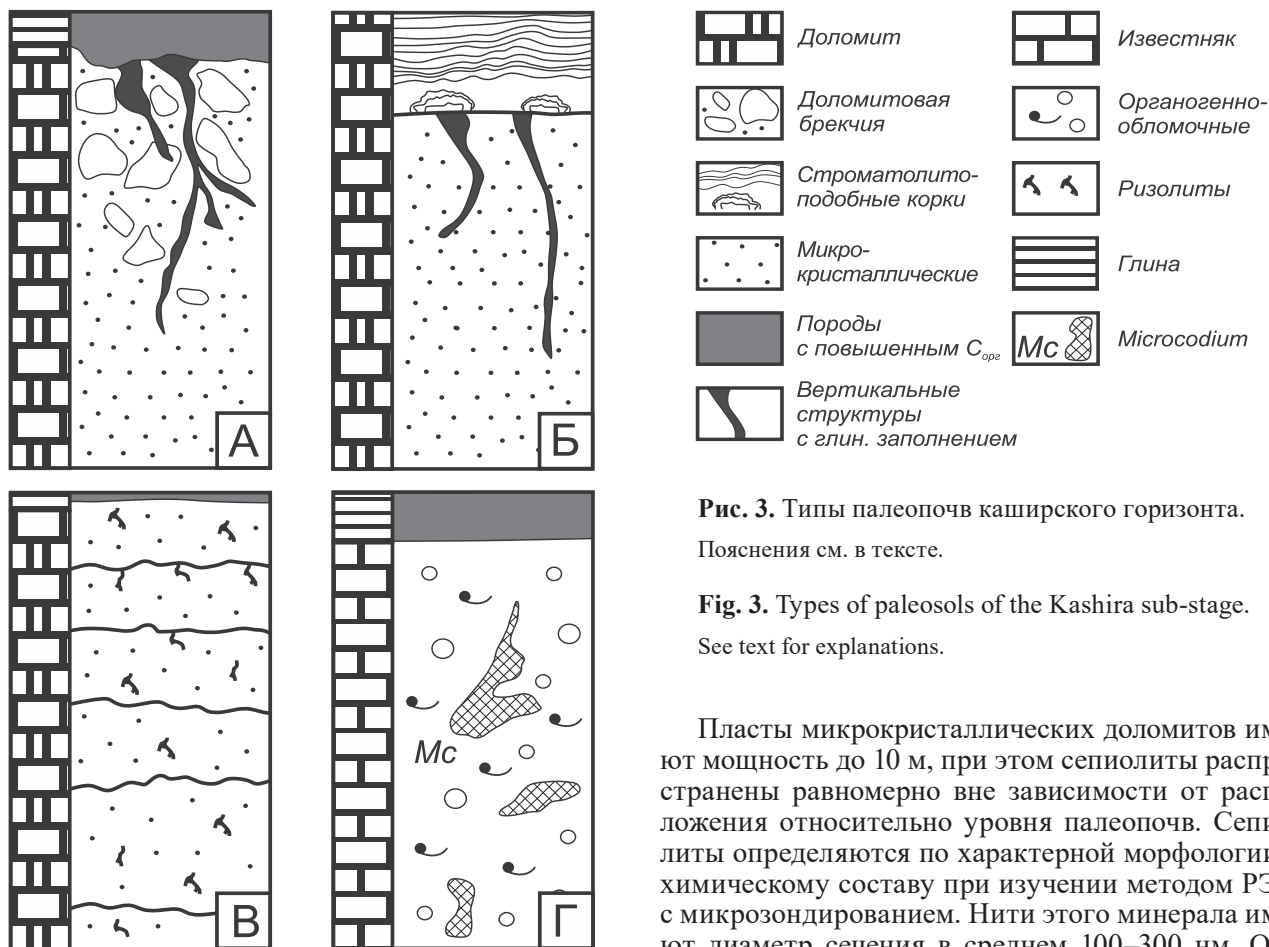


**Рис. 2.** Пористый органогенно-обломочный известняк (уровень палеопочвы ПП5).

а – менисковый (синие стрелки) и микросталяктитовый (красные стрелки) кальцитовый цемент, б – увеличенный фрагмент показан красным прямоугольником. Фото шлифа без анализатора.

**Fig. 2.** Porous bioclastic limestone (level of paleosol ПП5).

а – with meniscus (blue arrows) and microstalactitic (red arrows) calcite cement, б – magnified fragment is marked with a red rectangle. Photo of a thin section in plane polarized light.



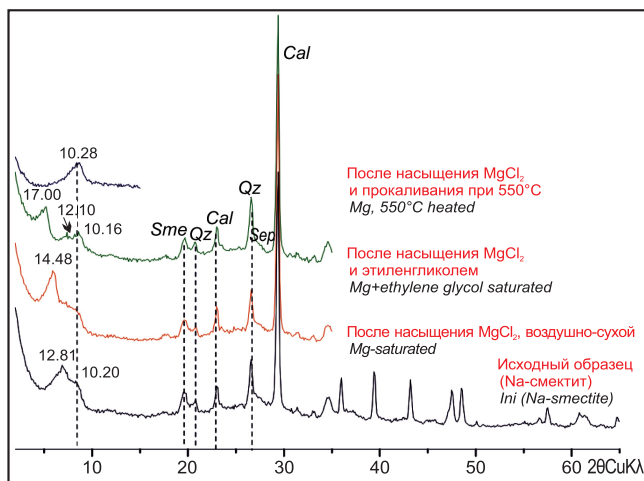
**Рис. 3.** Типы палеопочв каширского горизонта.

Пояснения см. в тексте.

**Fig. 3.** Types of paleosols of the Kashira sub-stage.

See text for explanations.

Пласты микрокристаллических доломитов имеют мощность до 10 м, при этом сепиолиты распространены равномерно вне зависимости от расположения относительно уровня палеопочв. Сепиолиты определяются по характерной морфологии и химическому составу при изучении методом РЭМ с микрозондированием. Нити этого минерала имеют диаметр сечения в среднем 100–300 нм. Они



**Рис. 4.** Дифрактограмма образца углистых глин из кровли ППЗ.

Sme – смектит, Qz – кварц, Cal – кальцит, Sep – сепиолит.

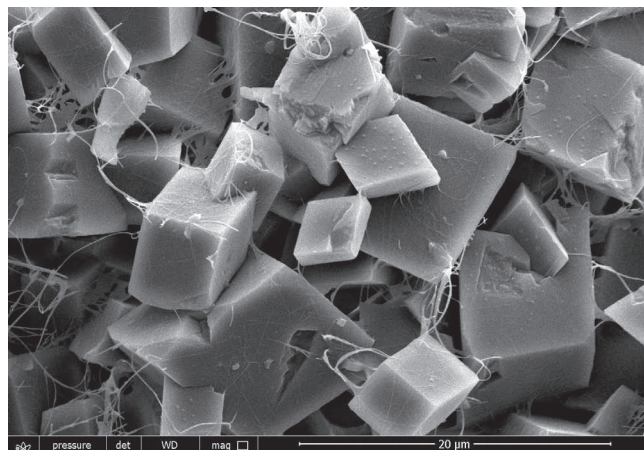
**Fig. 4.** X-ray diffraction pattern of a sample of coaly clays from the top of paleosol ППЗ.

Sme – smectite, Qz – quartz, Cal – calcite, Sep – sepiolite.

развиты как в межкристаллическом пространстве, так и на поверхности кристаллов доломита, окутывают их плотной сетью (рис. 5).

В палеопочвах типа В на доломитовом субстрате встречаются многочисленные ризолиты – остатки корней высшей наземной растительности, которые являются ценным источником информации о существовавшем растительном покрове (Алексеева, 2020б). Преобладают мелкие ризолиты длиной 1–5 см, характерна их послойная локализация. Выделены три уровня их развития и более (рис. 6а). В соответствии с классификацией К.Ф. Клаппа (Кларра, 1980), ризолиты в палеопочвах этого типа отнесены к петрифицированным ризолитам и ризолитам-слепок. На рис. 6б показан поперечный срез петрифицированного ризолита в прозрачном шлифе с глинистыми кутанами, развитыми по его поверхности. Они имеют разнообразное заполнение, в том числе чистый гипс. Ризолиты-слепок сложены карбонатно-глинистым материалом с примесью гипса (рис. 6в), а также глиной, обогащенной органическим веществом. Наряду со слепами характерной для ризолитов морфологии встречаются полости причудливой формы, выполненные преимущественно глинистыми углеродсодержащими осадками (рис. 6г). Они интерпретированы как ризолиты-слепки или мелкие ихнофоссилии – следы ползания насекомых или червей.

В доломитах палеопочв типов А и Б отмечается сильная брекчированность, а также часто наблюдаются деформации в виде субвертикальных структур длиной до 30–40 см, неравномерно за-



**Рис. 5.** Идиоморфные кристаллы доломита, окутанные нитевидными образованиями сепиолита (данные РЭМ).

**Fig. 5.** Euhedral dolomite crystals shrouded in filamentous sepiolite formations (SEM data).

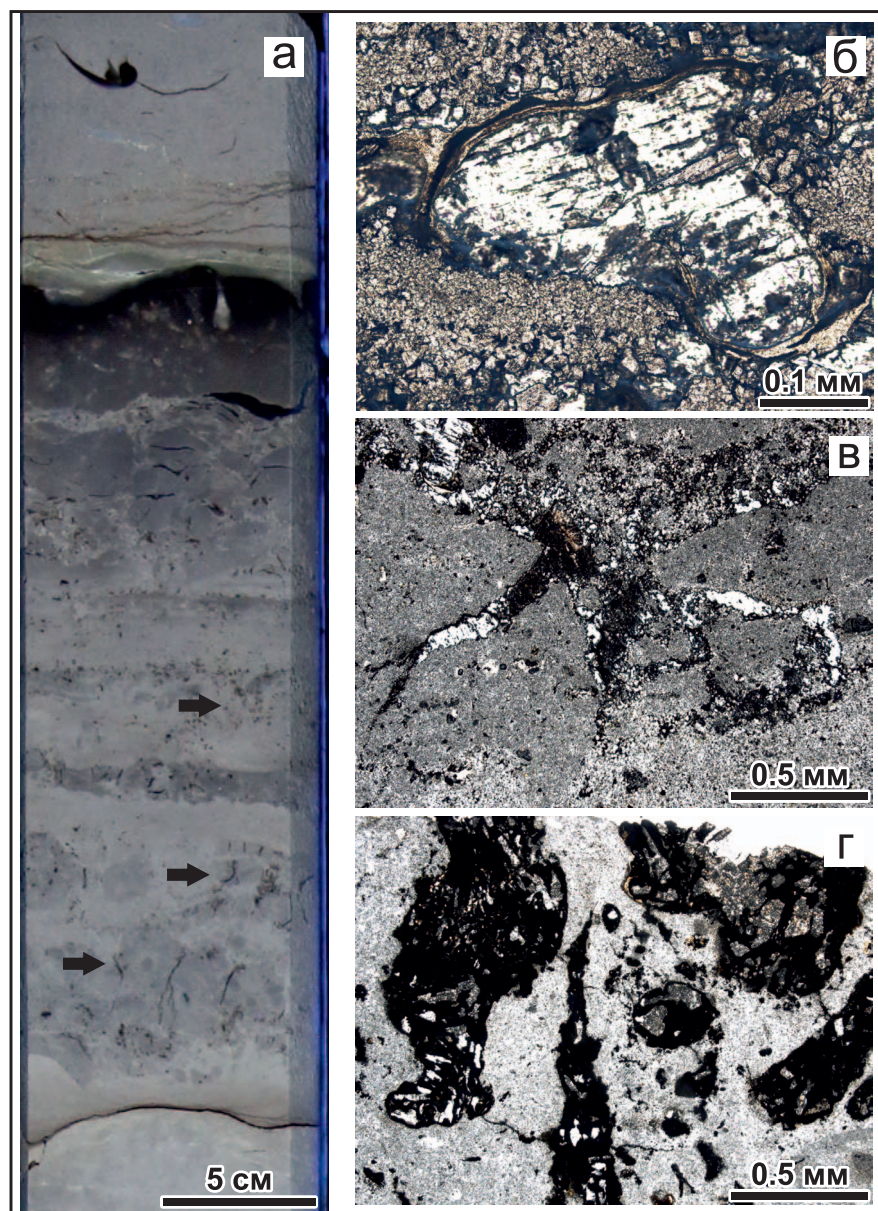
полненных глинисто-карбонатным материалом (рис. 7). Возможно, эти деформации являются следами воздействия более крупных корней растений на подстилающие породы.

Палеопочвы типа Г на известняковом субстрате характеризуются развитием калькретов и широким распространением образований *Microcodium*. Ризолиты в палеопочвах этого типа имеют принципиально отличное строение. Они представлены трубками-тубулами, сформированными вокруг корневых каналов, сцементированными кальцитом. На рис. 8а изображен шлиф из прослоя частично доломитизированного калькрета с многочисленными округлыми и овальными пустотами, вокруг которых развиты радиально-лучистые удлиненные кристаллы кальцита. Присутствуют также фрагменты минерализованных растительных остатков, имеющих сходную морфологию. При детальном рассмотрении структуры трубчатых пустот видны аналогичные радиально-лучистые агрегаты кальцита изометричной и удлиненной формы без пустот внутри (рис. 8б), морфологически напоминающие *Microcodium*.

На рис. 8в представлена фотография шлифа с разнообразными формами “микрокодиевидных” агрегатов кальцита – удлиненной, веерообразной и изометричной розетковидной с растворенными центрами (альвеолами). Возможно, такой вид микрокодий связан с доломитизацией калькрета, который по преобладающему минералу можно классифицировать как долокрет.

В горизонтах калькрет без доломитовой составляющей *Microcodium* имеют более узнаваемые черты. На рис. 8г представлена фотография шлифа с характерной структурой *Microcodium* (corn-cob)





**Рис. 6.** Особенности строения ризолитов каширского горизонта.

а – мелкие корни наземных растений в керне (палеопочва типа В, фото керна в ультрафиолетовом свете); б–г – строение ризолитов в шлифах (фото без анализатора): б – глинистые кутаны на внешней поверхности петрифицированного гипсом ризолита (поперечное сечение), в – слепок мелкого корня, сложенный глинистыми минералами и гипсом, г – полости причудливой формы, сложенные глинистым материалом и органическим веществом.

**Fig. 6.** Features of the structure of rhizoliths of the Kashirskian sequence.

а – small roots of terrestrial plants in the core (paleosol type B, photo of the core in ultraviolet light); б–г – structure of rhizoliths in thin sections (photo in plane polarized light): б – clay cutans on the outer surface of gypsum-petrified rhizolite (cross section), в – cast of a small root composed of clay minerals and gypsum, г – bizarrely shaped vugs, filled with clay and organic matter.

вокруг центра правильной формы, сложенного пелитоморфным кальцитом. Вероятно, он образован вокруг слепка корня, выполненного карбонатным осадком.

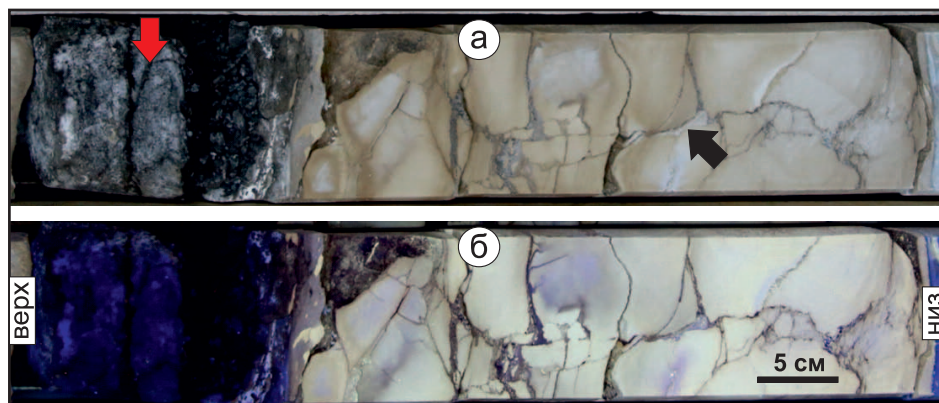
Таким образом, встреченные *Microcodium* преимущественно приурочены к остаткам корней высшей наземной растительности, что подтверждает их биологическую природу (Klappa, 1978; Košir, 2004; Kabanov et al., 2008; Антошкина, 2014). Калькреты каширского горизонта следует относить к бета-калькретам (Wright, Tucker, 1991) ввиду наличия в них кальцифицированных трубок-тубул и *Microcodium*, гранулярной структуры и других признаков.

Не всегда в керне можно наблюдать палеопочвы с сохранившимся полным профилем. Встречаются несогласия с отдельными почвенными признаками в слагающих их отложениях. На рис. 9 приведен такой пример, где сильно преобразованный ги-

пергенными процессами брекчированный микрокристаллический доломит имеет резкую неровную границу с перекрывающим его органогенно-обломочным косослоистым известняком. В перекрывающем известняке наблюдаются интракласты удлиненной формы, сложенные доломитом, идентичным подстилающему субстрату. Здесь же присутствуют интракласты черного цвета (“черные гальки”), представляющие собой фрагменты гумусоаккумулятивного слоя размытой палеопочвы.

Среди интракlastов в таких породах встречаются также фрагменты “твердой корки” (duricrust) палеопочвенных горизонтов. На рис. 10 представлена фотография шлифа органогенно-обломочного известняка с таким фрагментом. Удлиненный интракlast имеет слоистую внутреннюю текстуру, а также несет следы приповерхностной дедо-

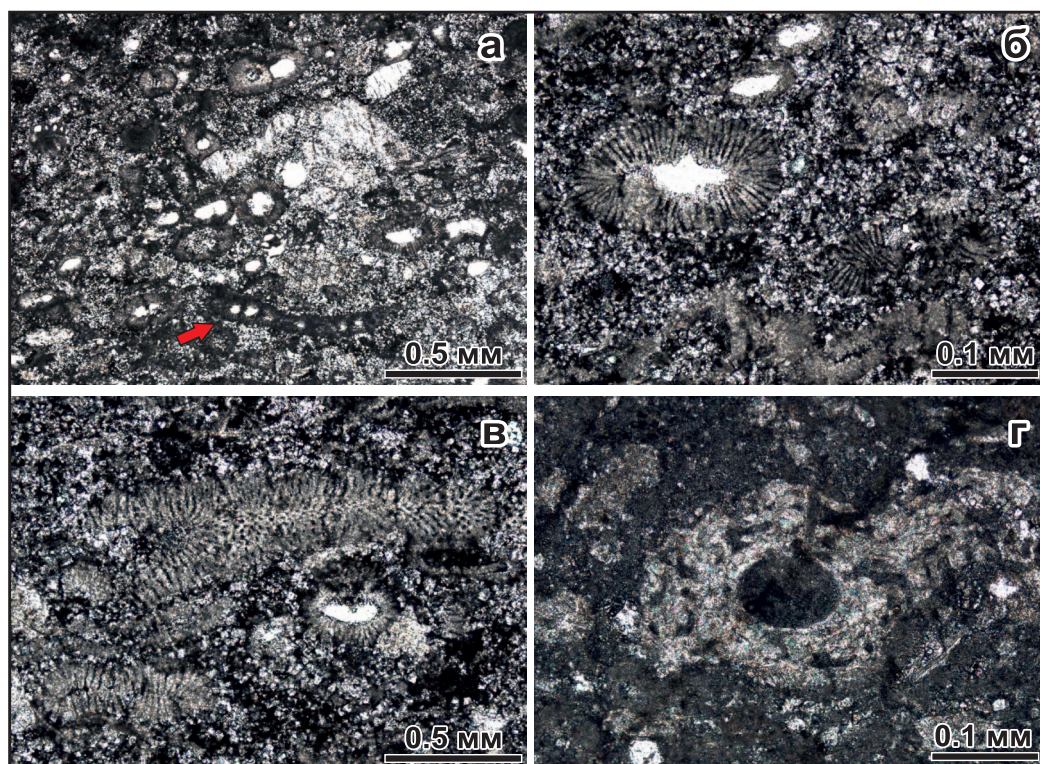




**Рис. 7.** Прослой углеродистых глинистых известняков (красная стрелка) в сильно измененных микрокристаллических доломитах (ППЗ, тип А).

Фото керна в дневном (а) и ультрафиолетовом (б) свете. Видны субвертикальные структуры, заполненные глинисто-карбонатным материалом (черная стрелка).

**Fig. 7.** Interlayer of coaly argillaceous limestones (red arrow) in highly altered microcrystalline dolomites (ППЗ, type A). Photo of the core in daylight (a) and ultraviolet (б) light. Note subvertical structures filled with clay-carbonate material (black arrow).



**Рис. 8.** Агрегаты кальцита в калькретах каширского горизонта (уровень ППЗ).

а – частично доломитизированный калькрет с многочисленными трубчатыми пустотами и кальцитизированными остатками наземных растений (красная стрелка); б – розетковидные агрегаты удлиненных кристаллов кальцита преимущественно с растворенными центрами; в – разновидности микрокодиевидных агрегатов кальцита: удлиненные, изометрические розетковидные, веерообразные; г – *Microcodium* вокруг центра, сложенного пелитоморфным кальцитом. Фото шлифов без анализатора.

**Fig. 8.** Calcite aggregates in calcretes of the Kashirskian sequence (level of paleosol ППЗ).

а – Partially dolomitized calcrete with numerous tubular voids and calcitized remnants of terrestrial plants (red arrow); б – rosette-shaped aggregates of elongated calcite crystals, predominantly with dissolved cores; в – varieties of *Microcodium*-like calcite aggregates: elongated, isometric rosette-shaped, fan-shaped; г – *Microcodium* around a center composed of micritic calcite. Photo of thin sections in plane polarized light.





**Рис. 9.** Выраженная граница между сильно измененным доломитом микрокристаллическим и известняком органогенно-обломочным (ПП5, тип А).

Видны интракласты доломита (красная стрелка) и “черные гальки” (черные стрелки). Цена деления линейки – 1 мм.

**Fig. 9.** Sharp boundary between highly altered microcrystalline dolomite and bioclastic limestone (ПП5, type A).

Dolomite intraclasts (red arrow) and “black pebbles” (black arrows) are visible. Scale division – 1 mm.

ломитизации (раздоломичивания). Внутри интракласта наблюдаются сферулы кальцита, окрашенные в ржавые тона, а также уплощенные пустоты такой же формы. Ржавый цвет сферулитовых агрегатов кальцита обусловлен осаждением аморфных оксидов-гидроксидов Fe, присутствующего в доломитах в качестве микропримесей (Tanner, 2010).

В данном случае дедоломитизация связана с растворением сульфатов метеорными водами в приповерхностных условиях, при котором повышается соотношение  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  в поровых флюидах. При этом возможны растворение доломита и одновременное осаждение кальцита.

## ВЫВОДЫ

Описанные особенности строения и состава палеопочв позволяют сделать вывод о господстве семиаридного климата в каширском веке на изучаемой территории. На это указывает присутствие галита и сульфатов (ангидрита и гипса) в микрокристаллических доломитах, углеродистых глинах и ризолитах. Развитые в микрокристаллических доломитах и глинистых прослоях палеопочв высокомагнезиальные силикаты сепиолиты также являются индикаторами аридного литогенеза. Дополнительным подтверждением этому служат наличие бета-калькретов и малый (часто микроскопический) размер ризолитов.

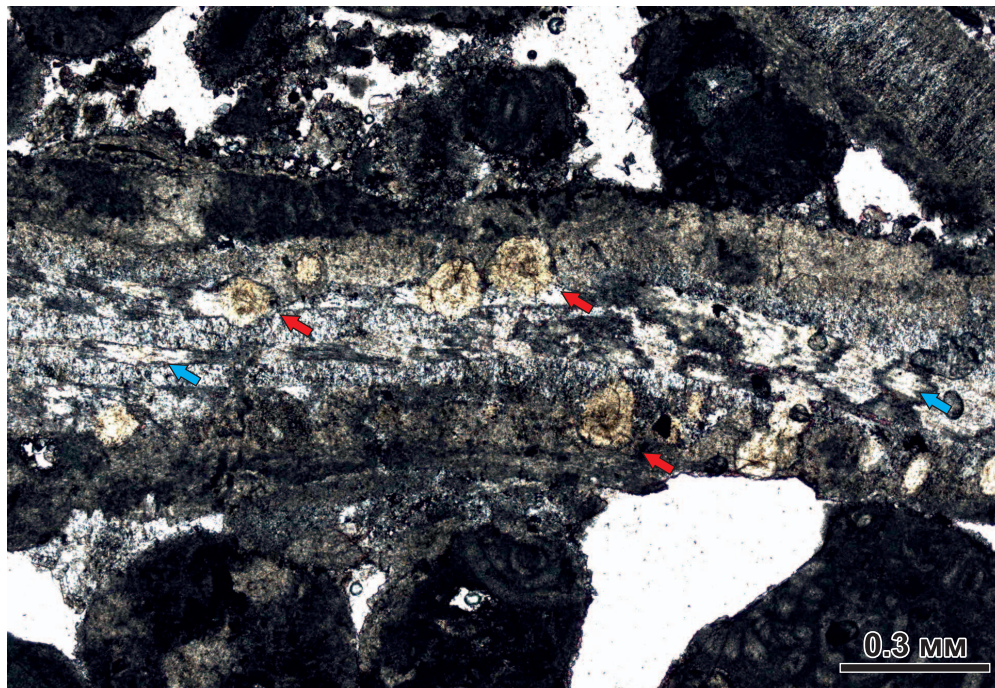
Изученные палеопочвы залегают преимущественно на доломитовом субстрате. Вероятно, в периоды снижения уровня моря на выровненном рельефе сохранялись неглубокие эфемерные водоемы, в которых шло образование седиментационно-раннедиагенетических доломитов в парагенезе с эвапоритовыми минералами и сепиолитом. Осушенное дно водоемов колонизировала мелкая наземная растительность, и таким образом развивались почвы.

Встреченные редкие полные профили палеопочв сохранились, вероятно, благодаря плоскому рельефу и/или крайне пологому уклону, которые обеспечили их медленное затопление и захоронение. Палеопочвы, расположенные в восточных районах изучаемой территории, залегают на известняковом субстрате, часто в них отмечаются признаки частичного размыва.

Изучение ризолитов показало прямую связь между составом субстрата и типом сформировавшегося ризолита. Так, на доломитовом субстрате встречены слепки корней, заполненные осадочной породой, часто с развитыми глинистыми кутанами, тогда как на известняковом субстрате развиты кальцитовые трубки-тубулы, сформированные вокруг корневых каналов. К ним приурочены многочисленные образования *Microcodium*.

Обращает на себя внимание сходство палеопочв каширского горизонта платформенного Башкортостана с одновозрастными палеопочвами Московской области, описанными в работах (Алексеева и др., 2010; Kabanov et al., 2010): минералогический состав, наличие бета-калькрет, сходная морфология ризолитов, распространение *Microcodium*. Эти данные указывают на однотипность климата и близкие условия осадконакопления, существовавшие на указанных территориях в каширское время.

Уровни развития палеопочв маркируют границы циклотем, а по каротажным данным просле-



**Рис. 10.** Фрагмент удлиненного интракласта с признаками дедоломитизации (ПП5, тип А).

Видны сферулы кальцита, окрашенного в ржавые тона (красные стрелки), и сплюснутые пустоты аналогичной формы (синие стрелки).

**Fig. 10.** Fragment of an elongated intraclast with signs of dedolomitization (ПП5, type A).

Rust-colored spherules of calcite (red arrows) and flattened voids of a similar shape (blue arrows) are visible.

живаются на больших расстояниях, что позволяет использовать их в качестве инструмента для более дробного стратиграфического расчленения каширского горизонта. Выделение границ распространения фораминиферовых комплексов на изучаемой территории часто бывает затруднено из-за высокой доли доломитов в разрезе, которые формируют слои и пачки мощностью до 10 м и более (Архипова 1999), при этом средняя продолжительность фузулинидовой зоны превышает продолжительность накопления одной циклотемы.

Цикличность в отложениях каширского горизонта, проявляющаяся в повторении литотипов и наличии палеопочв, отражает глобальные эвстатические колебания уровня моря. Учитывая незначительную фациальную изменчивость отложений протяженного эпиконтинентального бассейна каширского времени, описанные палеопочвы и циклиты имеют высокий потенциал прослеживания на региональном уровне. Кроме детализации местной стратиграфической шкалы, количество циклотем и палеопочв в разрезе московского яруса может помочь оценить относительную продолжительность каждого из горизонтов (Кабанов, Алексеев, 2011; Kabanov, Varanova 2007). Таким образом, педостратиграфический подход, наряду с циклостратиграфическим, может успешно применяться для решения комплекса за-

дач, включая детальную стратификацию толщи, на местном и региональном уровнях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Т.В. (2020a) Почвообразование и почвы в девоне и карбоне на территории Северной Евразии: строение, типы, биота, палеоклиматические архивы и стратиграфическая значимость. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: ПИН РАН, 355 с.
- Алексеева Т.В. (2020b) Ризолиты в палеопочвах девона и раннего карбона и их палеоэкологическая значимость. *Почвоведение*, **53**(4), 398-413.
- Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Кабанов П.Б. и др. (2010) Палеопочвы карбона московской синеклизы: гуминовые вещества, минералогические и геохимические свойства. *Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы*. (Отв. ред. С.В. Рожнов, В.А. Демкин). М.: ПИН РАН, 76-94.
- Антошкина А.И. (2014) Палеомикрокодии: новый взгляд на их генезис. *Палеонтол. журн.*, **4**, 15-31.
- Архипова В.В. (1999) Палеонтологическое обоснование каротажных реперов московского яруса по фораминиферам. *Тр. БашНИПИнефть*, **99**, 29-34.
- Иванова Е.А., Хворова И.В. (1955) Развитие фауны средне- и верхнекаменноугольного моря западной части Московской синеклизы в связи с его историей. В 3 кн. Кн. 1. *Стратиграфия среднего и верхнего карбона западной части Московской синеклизы*. М.: АН СССР, 283 с.
- Кабанов Б.П., Алексеев А.С. (2011) Каширский подъя-



- рус среднего карбона Окско-Цнинского вала: опорные разрезы, корреляция и циклостратиграфия. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, **86**(4), 32-51.
- Юнусов М.А., Архипова В.В., Юнусова Г.М. (2000) Литолого-стратиграфические реперы в разрезе палеозоя Башкортостана. *Тр. БашНИПИнефть*, **100**, 22-41.
- Kabanov P. (2003) The Upper Moscovian and Basal Kasimovian (Pennsylvanian) of Central European Russia: Facies, subaerial exposures and depositional models. *Facies*, **49**(1), 243-270. <https://doi.org/10.1007/s10347-003-0034-x>
- Kabanov P.B., Alekseeva T.V., Alekseeva V.A., Alekseev A.O., Gubin S.V. (2010) Paleosols in late Moscovian (Carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing "great calcimagnesian plain" paleolandscapes. *J. Sedimentary Res.*, **80**(3), 195-215. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.026>
- Kabanov P., Anadon P., Krumbein W.E. (2008) Microcodium: an extensive review and a proposed non-rhizogenic biologically induced origin for its formation. *Sedimentary Geol.*, **205**(3), 79-99. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.02.003>
- Kabanov P., Baranova D. (2007) Cyclothems and stratigraphy of the Upper Moscovian-basal Kasimovian (Pennsylvanian) succession of central and northern European Russia. *Proc. XV Int. Congress on Carboniferous and Permian*. Amsterdam, The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 147-160.
- Klappa C.F. (1978) Biolithogenesis of Microcodium: Elucidation. *Sediment.*, **25**(4), 489-522. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1978.tb02077.x>
- Klappa C.F. (1980) Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology*, **27**(6), 613-629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01651.x>
- Košir A. (2004) Microcodium revisited: Root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *J. Sedimentary Res.*, **74**(6), 845-857. <https://doi.org/10.1306/040404740845>
- Retallack G.J. (2009) Cambrian, Ordovician and Silurian pedostratigraphy and global events in Australia. *Austral. J. Earth Sci.*, **56**(4), 571-586. <https://doi.org/10.1080/08120090902806321>
- Tanner L.H. (2010) Continental Carbonates as Indicators of Paleoclimate. *Develop. Sedimentol.*, **62**, 179-214. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(09\)06204-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06204-9)
- Wright V.P., Tucker M.E. (1991) Calcretes: An introduction. *Int. Assoc. Sedimentol., Reprint Ser.*, **2**, 1-22. <https://doi.org/10.1002/9781444304497.ch>
- Alekseeva T.V. (2020a) Soil formation and soils of Devonian and Carboniferous in the territory of Northern Eurasia: structure, types, biota, paleoclimatic archives and stratigraphic significance. Dr. geol. and min. sci. diss. Moscow, PIN RAS, 355 p. (In Russ.)
- Alekseeva T.V. (2020b) Rhizoliths in Devonian and Early Carboniferous Paleosols and Their Paleoeological Interpretation. *Eurasian Soil Science*, **53**(4), 405-419 (Translated from *Pochvovedenie*, **53**(4), 398-413).
- Alekseeva T.V., Alekseev A.O., Kabanov P.B. et al. (2010) Carboniferous paleosols of the Moscow syncline: humic substances, mineralogical and geochemical properties. *Paleosoils and indicators of continental weathering in the history of the biosphere*. (Eds S.V. Rozhnov, V.A. Demkin). Moscow, PIN RAS, 76-94. (In Russ.)
- Antoshkina A.I. (2014) Palaeomicrocodium: A new view on its origin. *Paleontol. J.*, **48**(4), 353-368. (Translated from *Paleontol. Zhurn.*, **4**, 15-31). <https://doi.org/10.1134/S0031030114040030>
- Arkhipova V.V. (1999) Paleontological substantiation of logging benchmarks of the Moscow stage based on foraminifers. *Tr. BashNIPIneft'*, **99**, 29-34. (In Russ.)
- Ivanova E.A., Khvorova I.V. (1955) Development of the Fauna of the Middle and Upper Carboniferous Sea in the Western Part of the Moscow Syncline in Connection with Its History. In 3 books. B. 1. *Stratigraphy of the Middle and Upper Carboniferous of the western part of the Moscow Syncline*. Moscow, AN USSR, 283 p. (In Russ.)
- Kabanov P. (2003) The Upper Moscovian and Basal Kasimovian (Pennsylvanian) of Central European Russia: Facies, subaerial exposures and depositional models. *Facies*, **49**(1), 243-270. <https://doi.org/10.1007/s10347-003-0034-x>
- Kabanov P.B., Alekseev A.S. (2011) Kashira Substage of the Middle Carboniferous of the Oka-Tsna Swell: reference sections, correlation and cyclostratigraphy. *Bull. Moscow Society of Naturalists. Department of Geology.*, **86**(4), 32-51. (In Russ.)
- Kabanov P., Baranova D. (2007) Cyclothems and stratigraphy of the Upper Moscovian-basal Kasimovian (Pennsylvanian) succession of central and northern European Russia. *Proc. XV Int. Congress on Carboniferous and Permian*. Amsterdam, The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 147-160.
- Kabanov P., Anadon P., Krumbein W.E. (2008) Microcodium: an extensive review and a proposed non-rhizogenic biologically induced origin for its formation. *Sediment. Geol.*, **205**(3), 79-99. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.02.003>
- Kabanov P.B., Alekseeva T.V., Alekseeva V.A., Alekseev A.O., Gubin S.V. (2010) Paleosols in late Moscovian (Carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing "great calcimagnesian plain" paleolandscapes. *J. Sediment. Res.*, **80**(3), 195-215. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.026>
- Klappa C.F. (1978) Biolithogenesis of Microcodium: Elucidation. *Sedimentology*, **25**(4), 489-522. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1978.tb02077.x>
- Klappa C.F. (1980) Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis Klappa C.F. (1980) Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology*, **27**(6), 613-629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01651.x>
- Košir A. (2004) Microcodium revisited: Root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *J. Sediment. Res.*, **74**(6), 845-857. <https://doi.org/10.1306/040404740845>
- Retallack G.J. (2009) Cambrian, Ordovician and Silurian pedostratigraphy and global events in Australia. *Austral. J. Earth Sci.*, **56**(4), 571-586. <https://doi.org/10.1080/08120090902806321>
- Tanner L.H. (2010) Continental Carbonates as Indicators of Paleoclimate. *Develop. Sedimentol.*, **62**, 179-214. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(09\)06204-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06204-9)
- Wright V.P., Tucker M.E. (1991) Calcretes: An introduction. *Int. Assoc. Sedimentol., Reprint Ser.*, **2**, 1-22. <https://doi.org/10.1002/9781444304497.ch>
- Yunusov M.A., Arkhipova V.V., Yunusova G.M. (2000) Lithological and stratigraphic markers in the Paleozoic section of Bashkortostan. *Tr. BashNIPIneft'*, **100**, 22-41. (In Russ.)

## REFERENCES