

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 552.524:551.736.3+551.83

doi: 10.26907/2542-064X.2022.4.590-605

ПАЛЕОПОЧВЫ КРАСНОЦВЕТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАЗАНСКОГО ЯРУСА РАЗРЕЗА СЕНТЯК

Ф.А. Муравьев, Т.В. Кропотова, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

В работе приведены результаты комплексного исследования палеопочвенных профилей опорного разреза казанского яруса Сентяк и опорного разреза пограничных отложений уфимского и казанского ярусов в Елабуге, расположенных в Нижнем Прикамье. Проведена идентификация палеопочвенных профилей в казанских отложениях и реконструкция на их основе палеоландшафтных и палеоклиматических условий. Выделено три типа палеопочв, различающихся степенью зрелости и комплексом педогенных признаков: протосоли, кальцисоли средней и высокой степени зрелости, последние характерны только для нижнеказанских отложений. По литологическим и палеонтологическим признакам почвообразующих пород реконструированы обстановки озерно-аллювиальных равнин. Педогенные признаки палеопочв (сликенсаиды, карбонатные нодулы) свидетельствуют о переменном влажном теплом климате. Среднегодовое количество осадков, рассчитанное по геохимическим индикаторам палеопочвенных профилей, составило 539 мм/год для нижнеказанских и 476 мм/год для верхнеказанских палеопочв, что наряду с педогенными признаками указывает на субгумидный/субаридный характер климата. Изотопный состав кислорода карбонатных нодул палеопочв отражает некоторую аридизацию климата в раннеказанское время (29.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$) по сравнению с уфимским (18.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$) и позднеказанским (22.3‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$). Отсутствие признаков оглеения свидетельствует об автоморфном характере палеопочв, а их небольшая мощность, эродированность верхних горизонтов и низкая степень зрелости в верхнеказанских отложениях указывают на то, что скорость седиментации превышала скорость почвообразования.

Ключевые слова: палеопочва, карбонатные нодулы, казанский ярус, уфимский ярус, геохимические индикаторы, изотопы углерода и кислорода

Введение

Палеопочвы представляют собой ценный архив геологической информации, позволяющей реконструировать палеоландшафтные и палеоклиматические условия, выявлять перерывы в осадконакоплении и тем самым дополняющей палеонтологическую характеристику осадочных пород. Пермские палеопочвы Волго-Уральской области, сформированные на красноцветных терригенных осадках, в настоящее время изучены недостаточно, большинство работ посвящено исследованию палеопочв уржумского и северодвинского ярусов пермской системы [1–7].

Палеопочвы континентальных отложений казанского яруса данной территории практически не исследовались.

Разрез казанского яруса Сентяк расположен в Елабужском р-не Татарстана на склонах правого берега р. Камы, 0.5–2.0 км выше по течению от с. Покровское (Сентяк) (55°42'06.7"С, 51°44'08.2"В) (рис. 1), и является опорным разрезом для Нижнего Прикамья [8, 9]. Нижняя часть разреза в составе байтуганских и нижней части камышлинских слоев представлена морскими фациями, верхняя часть нижеказанских и все вышеказанские отложения – красноцветными породами, содержащими неморскую фауну [8, 9]. Данный разрез хорошо изучен палеонтологическими [9], литологическими [10] и геохимическими [8] методами, однако палеопочвы в нем не были описаны до настоящего времени.

Целью настоящей работы является идентификация палеопочвенных профилей в казанских отложениях, их палеоклиматическая и палеоландшафтная интерпретация.

Методы исследования

Главным объектом исследования служили отложения разреза Сентяк мощностью около 140 м, из которых верхние 90 м представлены красноцветными породами (рис. 2). Всего было отобрано 39 образцов палеопочв и вмещающих пород с разных стратиграфических уровней. Для сравнения были также отобраны 8 образцов палеопочв из красноцветной части отложений уфимского яруса нижней перми опорного разреза в Елабуге [9]. Характер залегания, структурно-текстурные признаки, степень вторичных изменений исследуемых пород изучались полевыми методами. Выявление и документация палеопочвенных профилей проводились с помощью методики, изложенной в работе [11], классификация палеопочв проводилась по схеме Г.Х. Мака и др. [12]. При описании палеопочвенных профилей проводилась их типизация, основанная на сходстве физико-химических и педогенных признаков, отражающих условия формирования палеопочв [13].

Лабораторные исследования включали определение карбонатности и нерастворимого остатка, оптическую микроскопию палеопочв, карбонатных нодулей, а также песчано-пылеватой фракции палеопочв, рентгено-флуоресцентный анализ (РФА), рентгено-фазовый анализ илистой фракции палеопочв, гранулометрический анализ. Карбонатные нодули, отобранные из палеопочвенных профилей, исследовали с помощью изотопного анализа стабильных изотопов углерода и кислорода, проводимого по стандартной методике в лаборатории элементного и изотопного анализа Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета (КФУ). Расчет геохимических модулей с целью генетической интерпретации палеопочв выполняли по методике, изложенной в работах [14–16], использовали молярные доли оксидов химических элементов. Детальное описание методики лабораторных исследований приведено в работах [5, 7].

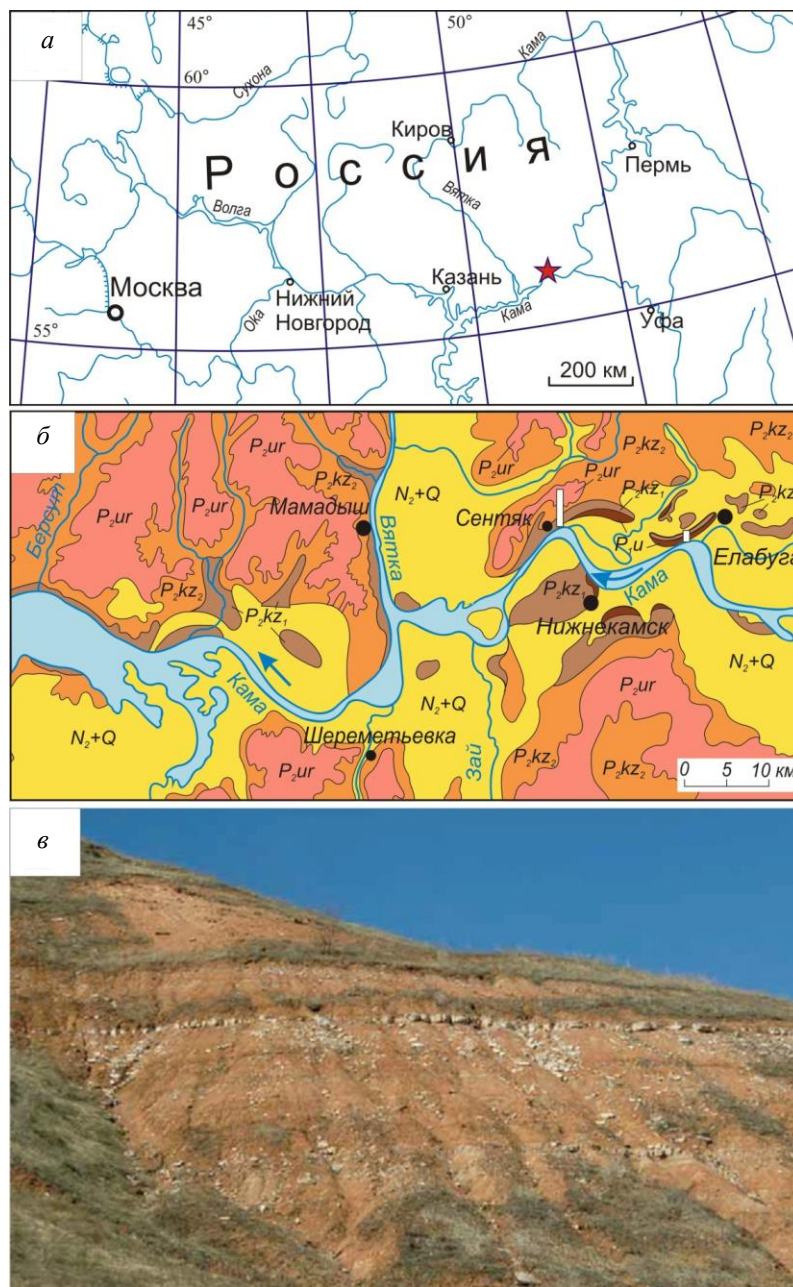


Рис. 1. Разрез отложений казанского яруса Сенях: *а* – местоположение разреза на европейской территории России; *б* – геологическая карта Нижнего Прикамья с разрезами Сенях и Елабуга (выделено белым); *в* – общий вид разреза, верхнеказанские отложения

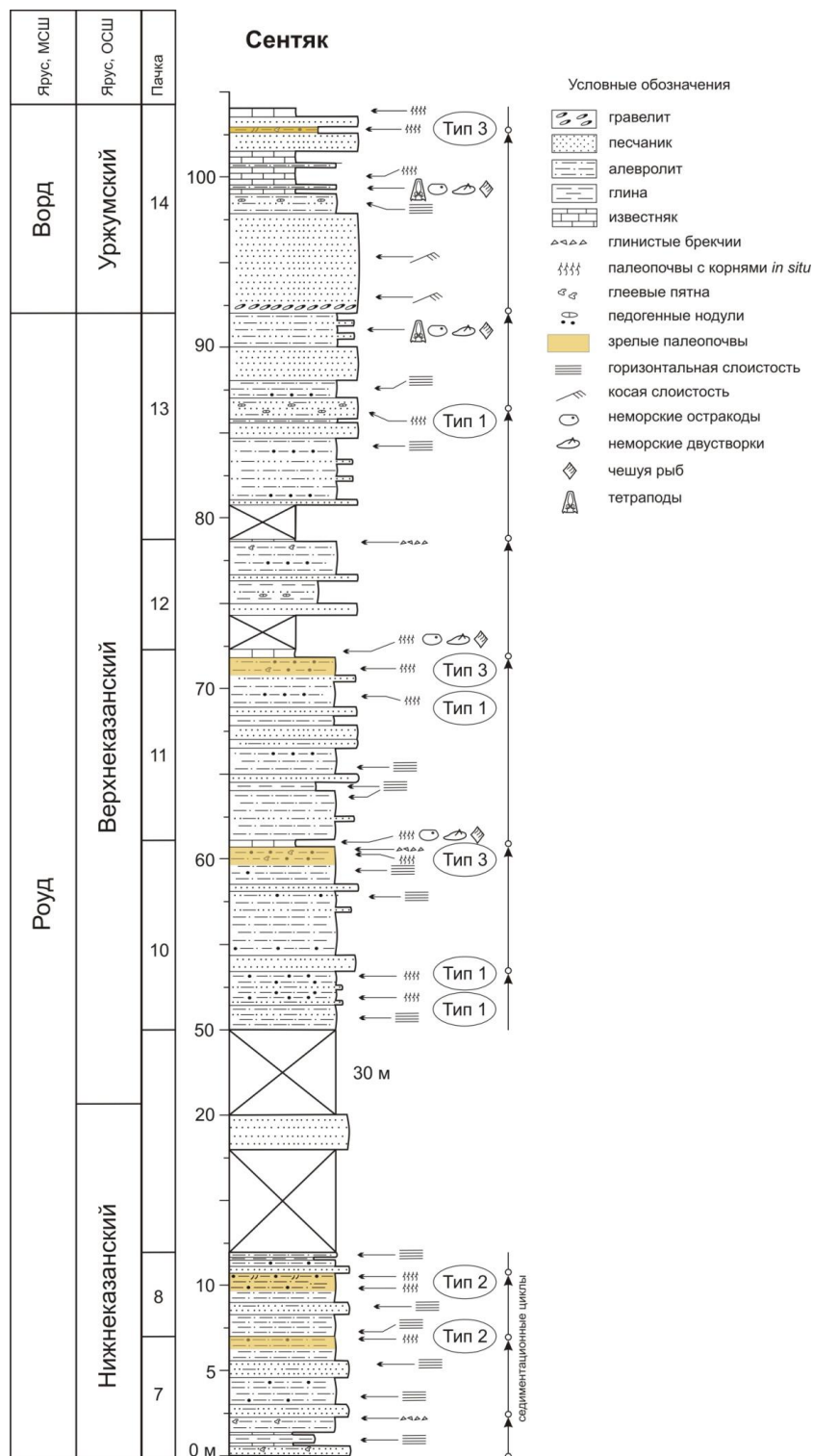


Рис. 2. Разрез казанских отложений Сентяк с выделенными типами палеопочв (пояснения в тексте). Стратиграфические подразделения приведены согласно [9]

Результаты и их обсуждение

Вмещающими породами для палеопочв в красноцветных отложениях разреза Сентяк являются красно-бурые алевролиты, алевропелиты и алевропесчаники. На основе особенностей строения было выделено три типа палеопочв в разрезе.

Тип 1: плитчатые алевропелиты, алевролиты и алевропесчаники; мелкие плоские нодулы рассеяны по профилю; редкие следы корней; почвенные горизонты не выделяются; нет сликенсаидов; глеевые пятна редкие или отсутствуют. Один из примеров палеопочв типа 1 приведен на рис. 3.

Две самостоятельные слабо развитые почвы типа 1 разделены непедогенным осадком, содержащим обломки озерных известняков, и, в целом, здесь скорость осадконакопления была выше скорости педогенеза, сохранилась слоистость пород.

Вертикальный геохимический профиль этих палеопочв, построенный по основным химическим индикаторам, показал следующее. Степень выветрелости обломочного материала (CIA) по всему профилю высокая, ее вариации соответствуют фазам накопления осадков, которые фиксируются изменением отношения Ti/Zr и изменениями гранулометрического состава по профилю (рис. 3). Минимум CIA и максимум $\Sigma bases/Al$ фиксируются в непедогенном голубовато-сером алевролите (горизонт D) и отражают высокую пылеватость и низкую глинистость этого слоя (рис. 3).

Тип 2: массивные вмещающие алевропелиты, алевролиты и алевропесчаники с угловатыми почвенными блоками; отчетливые почвенные горизонты с калькретом (Bk) в средней части; частые следы корней; сликенсаиды в глинистых почвах; глеевые пятна в алевропесчаных почвах; слившиеся нодулы уменьшаются в размере и становятся рассеянными вниз по профилю (рис. 4). Строение этого почвенного профиля составное, в нижней части залегает незрелая почва на алевропесчаниках (горизонты C2–C2k) типа 1 с редкими карбонатными нодулами и красно-бурыми следами корней. Верхняя часть профиля представлена зрелой почвой типа 2 на глинистых алевролитах с ясно различимыми генетическими горизонтами и калькретом в средней части (горизонты Bsk–Bk–Bck).

CIA увеличивается вверх по профилю, что отражает степень влияния педогенеза в верхней части (рис. 4), так как гранулометрический состав здесь более грубый. Изменения отношения Ti/Zr и $\Sigma bases/Al$ фиксируют две фазы осадконакопления (рис. 4).

Тип 3: массивные алевролиты и алевропесчаники с угловатыми почвенными блоками; почвенные горизонты неясно выражены или отсутствуют; следы корней обычны в верхней части профиля; небольшие нодулы (до 2–3 см) уменьшаются в размере и становятся рассеянными вниз по профилю; глеевые пятна встречаются редко. Палеопочвы типа 3 перекрываются волнисто-слоистыми озерно-болотными известняками с фауной остракод и почвенной трансформацией (рис. 5). Отпечатки корней в известняках часто имеют субгоризонтальную ориентацию.

Этот почвенный профиль сформирован на алевропесчаниках, его верхняя часть эродирована и перекрыта непедогенным пестроцветным алевролитом (горизонт D). CIA остается почти одинаковой по всему профилю (рис. 5), продолжительность процесса педогенеза здесь была небольшой, его степень влияния, скорее всего, минимальна. Изменения отношения Ti/Zr и $\Sigma bases/Al$ фиксируют две фазы осадконакопления (рис. 5). К этому же типу относятся палеопочвы уфимского яруса разреза

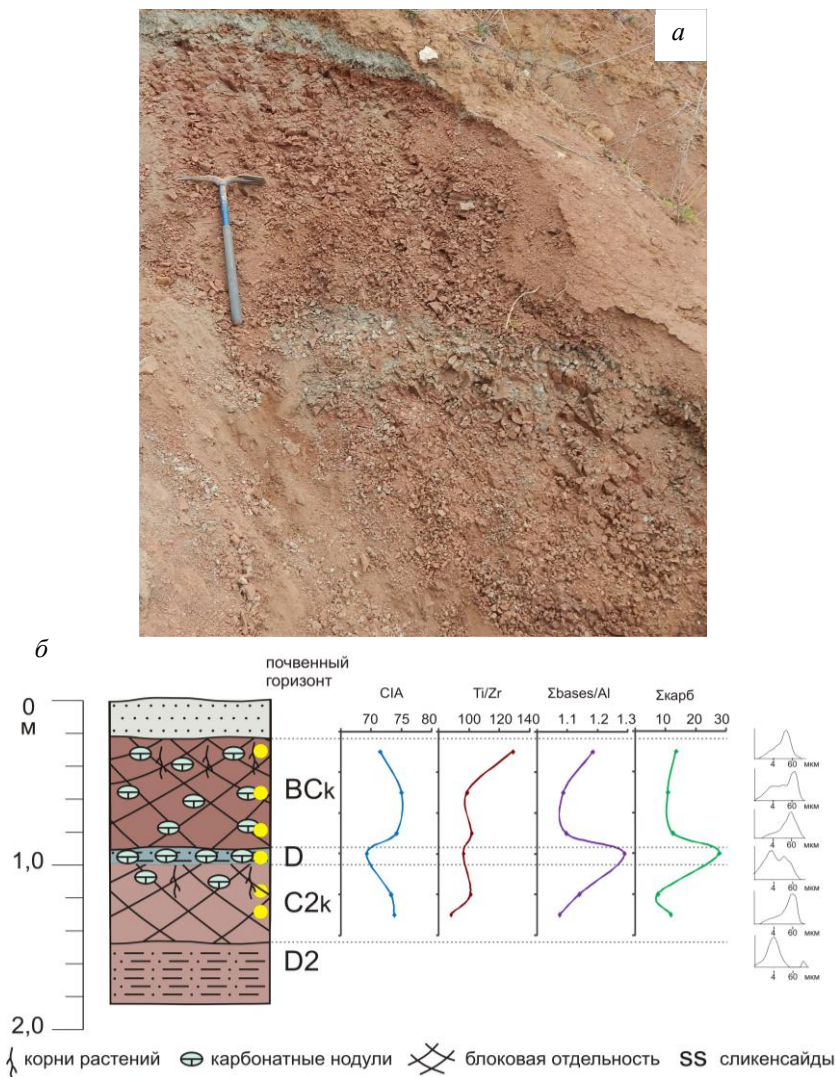


Рис. 3. Строение почвенных профилей типа 1: *a* – общий вид, длина кайла – 63 см, *б* – вертикальный геохимический профиль и гистограммы гранулометрического состава. Разрез Сентяк, верхнеказанский подъярус. Желтые точки показывают уровни отбора проб

в Елабуге, сформированные на алевропесчаниках и сосредоточенные в узком интервале разреза, примерно в 10–12 м ниже границы с казанским ярусом [9].

Мощности палеопочв всех типов составляют от 0.6 до 1.0 м, верхние горизонты палеопочв эродированы. Палеопочвы типа 1 преобладают в разрезе, и они очень схожи с породами, содержащими обломки карбонатных пород. В последних карбонатный гравий имеет, как правило, более окатанную форму по сравнению с педогенными нодулями и залегает вытянутыми по наслоению полосами.

По гранулометрическому составу большинство исследуемых палеопочв и осадочных пород относится к алевритам и песчанистым алевритам, согласно классификации Фолка [17], доля глинистых частиц, как правило, не превышает 12%. Микротекстура внутрипочвенной массы во всех типах почв массивная и пятнистая, обломочные зерна кварца и чешуйки слюды рассеяны в пылевато-глинистой

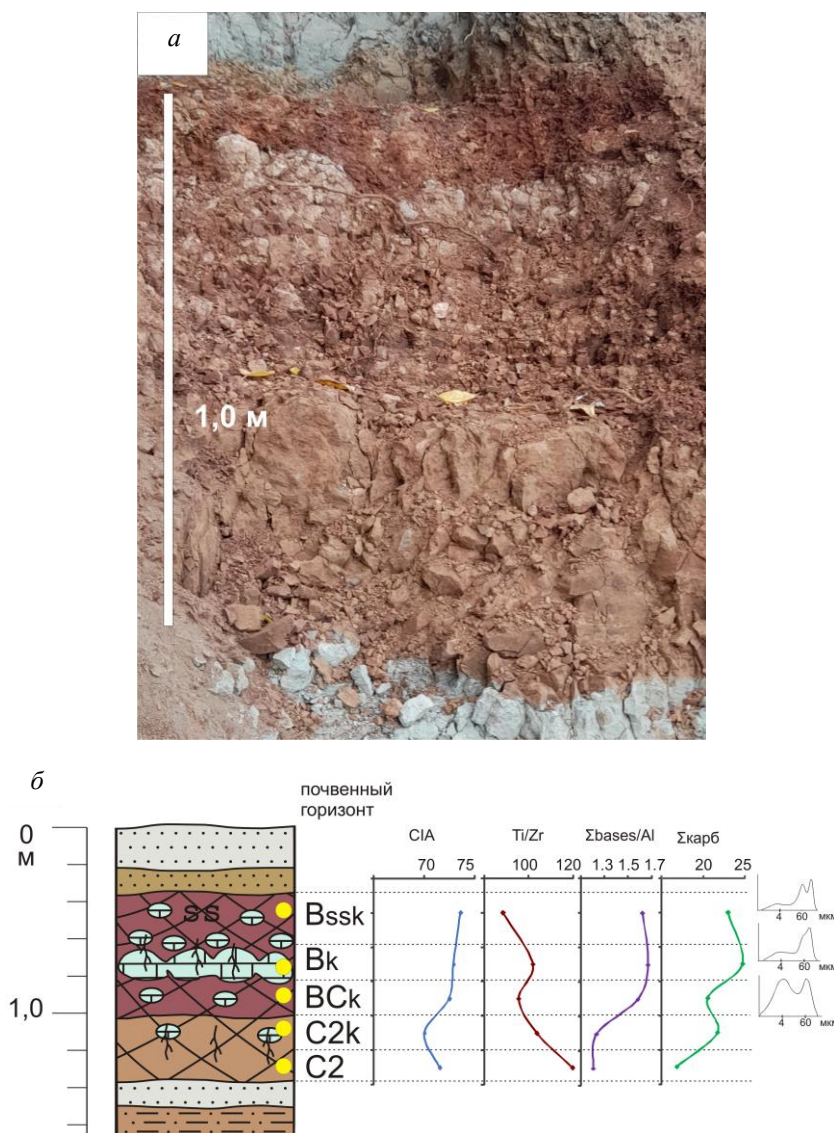


Рис. 4. Строение почвенного профиля типа 2: *a* – общий вид, *b* – вертикальный геохимический профиль и гистограммы гранулометрического состава. Разрез Сентяк, нижеказанский подъярус. Условные обозначения см. на рис. 3

массе (рис. 6, *a*), что может свидетельствовать о перемешивании осадков корневой системой растений. В палеопочве типа 2 встречаются мелкие округлые охристые стяжения (рис. 6, *a*) и минерализованные фрагменты корней растений. Охристые стяжения являются признаками перераспределения железа в почвенном профиле, где в верхних горизонтах происходило растворение соединений железа и их последующий вынос и отложение в горизонте В. Карбонатные нодулы во всех типах палеопочв состоят из кальцимикрита, имеют гранулярную структуру с развитием вторичного кальцита между гранулами (рис. 6, *b*). Такая структура является признаком дегидратации в процессе затвердевания нодулей, развитый по трещинкам вторичный кальцит имеет диагенетическую природу.

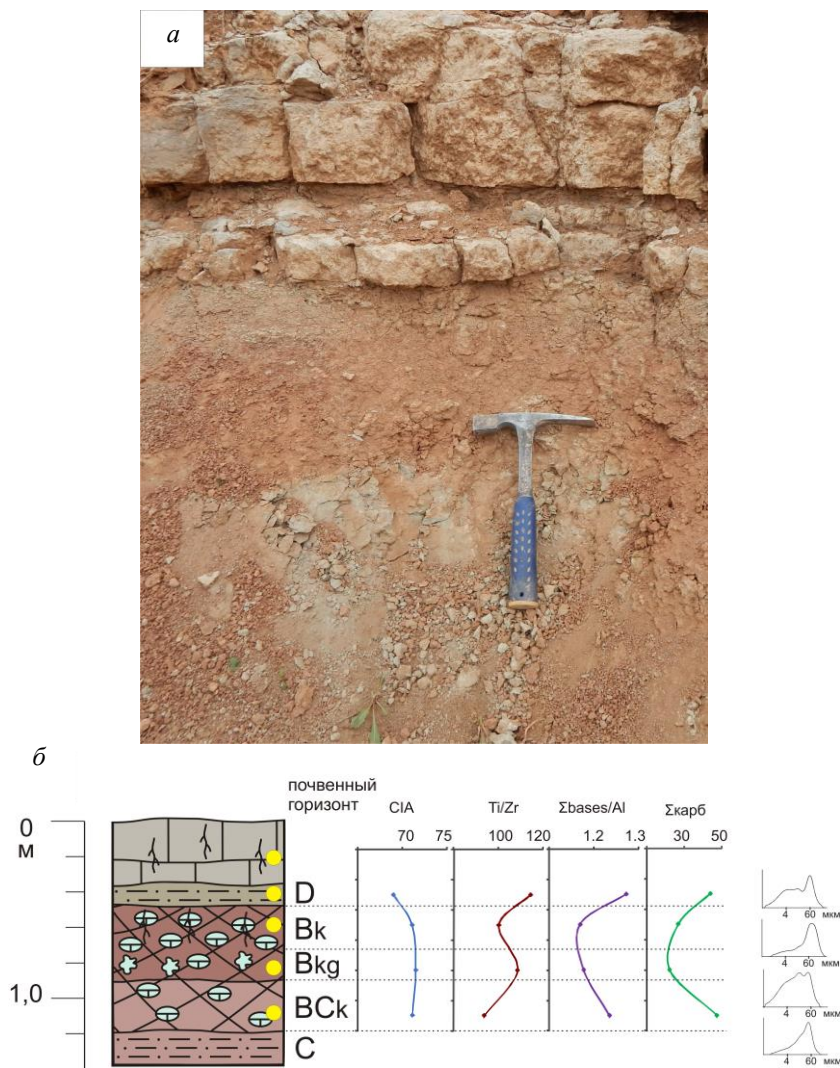


Рис. 5. Строение почвенного профиля типа 3: *а* – общий вид, длина молотка – 30 см, *б* – вертикальный геохимический профиль и гистограммы гранулометрического состава. Разрез Сентяк, верхнеказанский подъярус. Условные обозначения см. рис. 3

Карбонатность палеопочв изменяется от 8% до 30%, в среднем составляет 15–17%. Минералогический состав обломочной компоненты представлен кварцем и кремнистыми породами, редкими зернами рудных минералов и слюдами (до 1–3%). Илистая фракция представлена хлоритом, мусковитом, смектитом, каолинитом, кварцем и альбитом. Аналогичный минеральный состав характерен и для пород, не несущих следов педогенеза. Геохимические исследования палеопочв и непедогенных пород показали сходство их химического состава, в частности степени выветрелости, которая варьирует в пределах 70–75% в обоих типах пород (рис. 7, *а*). Это может свидетельствовать о едином источнике сноса обломочного материала, а также о минимальном влиянии процессов педогенеза на минеральный и химический состав пород. Расположение точек химического состава исследуемых пород между базальтами и гранитами на диаграмме

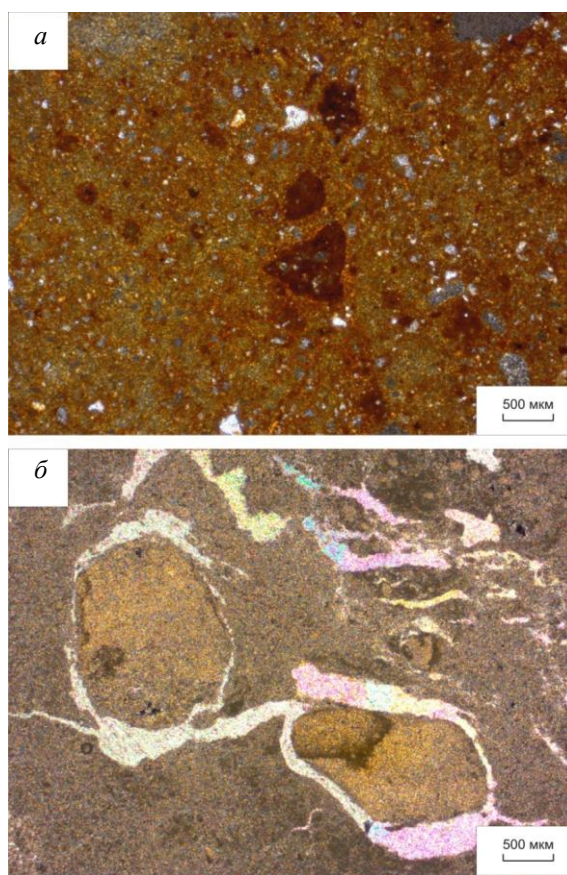


Рис. 6. Микроморфология палеопочв и педогенных нодулей, тип 2: *а* – пылевато-глинистая внутрипочвенная масса с обломочными песчаными зёрнами и железистыми стяжениями, *б* – карбонатный нодуль с основной микритовой массой и вторичным кальцитом вокруг гранул

$\text{SiO}_2 - \text{CaO} + \text{MgO} - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (рис. 7, *б*) показывает, что источниками материала для них могли служить магматические породы среднего либо смешанного состава. Все изученные обломочные породы являются переотложенными (рециклированными), что подтверждается диаграммой $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ (рис. 7, *в*).

На основе данных химического анализа силикокластики почвенных горизонтов ВСК было определено среднегодовое количество осадков по геохимическим индикаторам. Использовался индикатор $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$ ($\Sigma\text{bases}/\text{Al} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$) [15], применяемый к карбонатным палеопочвам. Этот индикатор показывает отношение щелочных и щелочноземельных элементов, выносимых из почвенного профиля атмосферными осадками в процессе выветривания, к глинозему, накапливающемуся при этом в почве. Таким образом, величина отношения $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$ будет обратно пропорциональна количеству осадков.

Среднегодовое количество осадков P , рассчитанное по формуле согласно [15]

$$P = -259.34 \ln(\Sigma\text{bases}/\text{Al}) + 759.052,$$

составило 624 мм/год для палеопочв типа 1, 539 мм/год для палеопочв типа 2 и 476 мм/год для палеопочв типа 3.

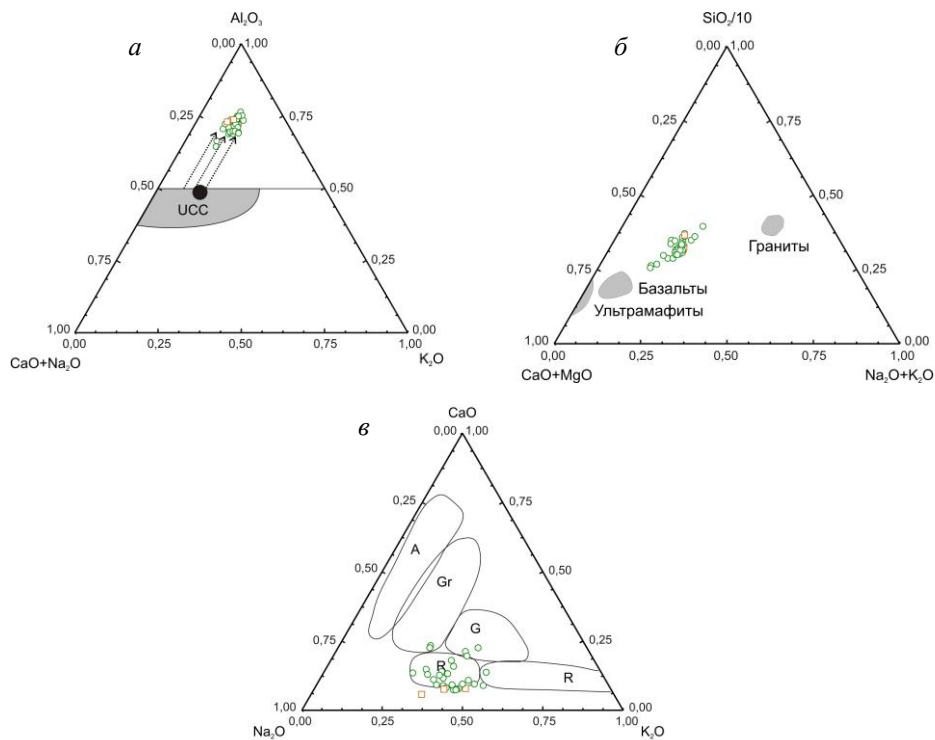


Рис. 7. Треугольные диаграммы химического состава почвовмещающих пород разрезов Сентяк и Елабуга: *а* – диаграмма $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--CaO+Na}_2\text{O--K}_2\text{O}$, UCC – состав верхней континентальной коры, серое – область развития нормальных магматических пород, по [18]; *б* – диаграмма $\text{SiO}_2/10\text{--CaO+MgO--Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$, по [19]; *в* – диаграмма $\text{CaO--Na}_2\text{O--K}_2\text{O}$, по [20]. Обозначения: А – андезиты, Gr – гранодиориты, G – граниты, R – рециклизованные осадки; круглые маркеры – палеопочвы, квадратные маркеры – непедогенные осадочные породы

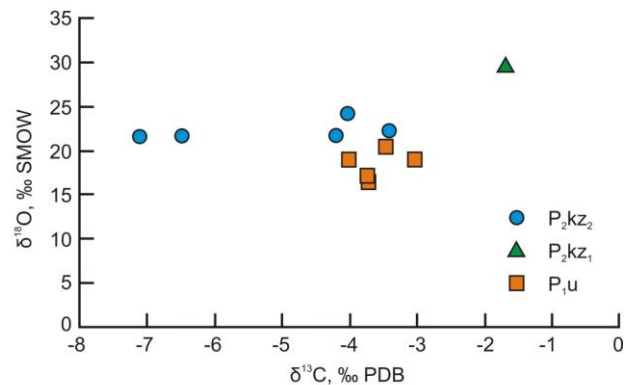


Рис. 8. Распределение значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в педогенных карбонатах разрезов Сентяк (P_{2kz_1} и P_{2kz_2}) и Елабуга ($\text{P}_{1\text{u}}$) (пояснения в тексте)

Изотопный состав углерода и кислорода педогенных нодулей показал широкий разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в разрезе Сентяк и близкие величины в разрезе Елабуга. В разрезе Сентяк значения $\delta^{13}\text{C}$ варьируют в пределах $-7.1\text{...}-1.7\text{‰}$ PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – в диапазоне $21.6\text{--}29.7\text{‰}$ SMOW (рис. 8). Нижнеказанские педоген-

ные карбонаты характеризуются более тяжелым изотопным составом (-1.7‰ PDB $\delta^{13}\text{C}$ и 29.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$), близким к составу нормальных морских карбонатов [21]. Это можно объяснить влиянием вод реликтового морского бассейна раннеказанского времени на формирование педогенных карбонатов либо усиленным испарением почвенных вод в процессе педогенеза, то есть некоторой аридизацией климата. Наиболее легкими по кислороду являются педогенные карбонаты уфимского яруса, которые показывают значения $16.5\text{--}20.5\text{‰}$ SMOW $\delta^{18}\text{O}$ (рис. 8). С учетом преимущественно песчаного разреза уфимского яруса в Елабуге облегчение изотопного состава кислорода можно связать с заметным влиянием вод атмосферных осадков.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. В красноцветных отложениях казанского яруса разреза Сентяк впервые описаны палеопочвенные профили и проведена их типизация на основе педогенных признаков. Выделено три типа палеопочв. Палеопочвы типа 1 характеризуются низкой степенью зрелости и классифицируются как протосоли [12], несмотря на присутствие карбонатных нодулей. Палеопочвы типа 2 являются наиболее зрелыми и встречаются только в нижнеказанских отложениях. Они классифицируются как кальцисоли [12] благодаря хорошо выраженному горизонту Вк (калькрету). Палеопочвы типа 3 имеют среднюю степень зрелости и классифицируются как (аргиллик) кальцисоли [12], так как ведущим их признаком является присутствие карбонатных нодулей.

2. Тонкозернистые породы, вмещающие палеопочвы, интерпретируются как флювиальные осадки главным образом пойменных фаций. Геохимические особенности этих пород свидетельствуют об их высокой степени выветрелости, сформированной в процессе многократного переотложения обломочного материала. Алеврито-песчаный матрикс палеопочв и низкая выраженность оглеения являются признаками хорошей проницаемости и преимущественно автоморфного характера палеопочв. Такие условия могли существовать на приподнятых участках пойменных равнин, заливаемых только во время сильных паводков. Широкое развитие карбонатных нодулей во всех типах палеопочв, а также сликенсаидов в глинистых разностях этих почв указывает на сезонный субаридный/субгумидный теплый климат. Присутствие каолинита в илистой фракции палеопочв казанского яруса разреза Сентяк может указывать на более влажный климат в казанское время по сравнению с уржумским, изученным ранее по палеопочвам уржумского яруса опорных разрезов Татарстана [4–7]. Оценка среднегодового количества осадков по геохимическим индикаторам палеопочв показала значения $476\text{--}624$ мм/год, что характерно для субтропического субаридного/субгумидного климата, выявленного по педогенным признакам.

3. Изотопный анализ карбонатных нодулей из палеопочвенных профилей показал, что наиболее легкими по кислороду являются педогенные карбонаты уфимского яруса ($16.5\text{--}0.5\text{‰}$ SMOW $\delta^{18}\text{O}$), наиболее тяжелыми – педогенные карбонаты нижнеказанского подъяруса (29.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$). Облегчение изо-

топного состава можно объяснить относительно более гумидным климатом в уфимское время по сравнению с раннеказанским.

4. Небольшая мощность почвенных профилей (< 1 м) и их низкая степень зрелости в верхнеказанских отложениях указывают на то, что скорость седиментации превышала скорость педогенеза и формирующиеся почвы размывались и перекрывались новыми осадками.

Литература

1. *Наугольных С.В.* Палеопочвы перми и раннего триаса // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Под ред. Семихатова М.А., Чумакова Н.М. – М.: Наука, 2004. – С. 221–229.
2. *Наугольных С.В.* Казанская и татарская растительность пермского периода // Геологические памятники природы Республики Татарстан / Под ред. И.А. Ларочкиной. – Казань: Акварель-Арт, 2007. – С. 236–254.
3. *Иноземцев С.А., Наугольных С.В., Якименко Е.Ю.* Верхнепермские палеопочвы на известняках: Морфология и генезис (среднее течение р. Волга) // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 660–674.
4. *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.
5. *Муравьев Ф.А., Арефьев М.П., Силантьев В.В., Гареев Б.И., Баталин Г.А., Уразаева М.Н., Кропотова Т.В., Выборнова И.Б.* Палеогеографические условия накопления красноцветных алевропелитов средней-верхней перми на территории Казанского Поволжья // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, кн. 4. – С. 548–568.
6. *Mouraviev F.A., Silantiev V.V., Gareev B.I., Batalin G.A., Vybornova I.B.* Paleosols from the Urzhumian (Middle Permian) reference section, Kazan Volga region, Russia // *Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. Surv. Geol. Min. Ecol. Manage., SGEM.* – 2018. – V. 18, No 1.1. – P. 387–394.
7. *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
8. *Силантьев В.В., Жарков И.Я., Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р.* Международный симпозиум «Верхнепермские стратотипы Поволжья». Путеводитель геологической экскурсии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1998. – 79 с.
9. *Nurgaliev D.K., Silantiev V.V., Nikolaeva S.V.* (Eds.) Type and Reference Sections of the Middle and Upper Permian of the Volga and Kama River Regions. A Field Guidebook of XVIII Int. Congr. on Carboniferous and Permian. – Kazan: Kazan Univ. Press, 2015. – 208 p.
10. *Сементовский Ю.В.* Условия образования месторождений минерального сырья в позднепермскую эпоху на востоке Русской платформы. – Казань: Тат. кн. изд-во, 1973. – 256 с.
11. *Retallack G.J.* Paleosols and applications // Reinhardt J., Sigleo W.R. (Eds.) *Field Recognition of Paleosols.* – *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 1988. – Art. 216, P. 1–21. – doi: 10.1130/SPE216-p1.

12. Mack G.H., James W.C., Monger H.C. Classification of paleosols // Geol. Soc. Am. Bull. – 1993. – V. 105, No 2. – P. 129–136. – doi: 10.1130/0016-7606(1993)105<0129:COP>2.3.CO;2.
13. Retallack G.J. A pedotype approach to latest Cretaceous and earliest Tertiary paleosols in eastern Montana // Geol. Soc. Am. Bull. – 1994. – V. 106, No 11. – P. 1377–1397. – doi: 10.1130/0016-7606(1994)106<1377:APATLC>2.3.CO;2.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. – 1982. – V. 299. – P. 715–717. – doi: 10.1038/299715a0.
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. 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.
17. Folk R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. – Austin, Tex.: Hemphill Publ. Co., 1980. – 184 p.
18. Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // Geology. – 1995. – V. 23, No 10. – P. 921–924. – doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2.
19. Летникова Е.Ф., Вещева С.В., Прошенкин А.И., Кузнецов А.Б. Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 12. – С. 2110–2121.
20. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. – 1983. – V. 91, No 6. – P. 611–627. – doi: 10.1086/628815.
21. Фор Г. Основы изотопной геологии. – М.: Мир, 1989. – 590 с.

Поступила в редакцию
23.08.2022

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

Кропотова Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры теории относительности и гравитации

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

Гареев Булат Ирекович, директор научно-исследовательского центра ГеоЛаб

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: bulat@gareev.net

Баталин Георгий Александрович, инженер-исследователь научно-исследовательского центра ГеоЛаб

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: g@batalin.com

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2022.4.590-605

Paleosols from the Kazanian Red Beds of the Sentyak Section, Russia*F.A. Mouraviev*^{*}, *T.V. Kropotova*^{**}, *B.I. Gareev*^{***}, *G.A. Batalin*^{****}*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*E-mail: ^{*}*fedor.mouraviev@kpfu.ru*, ^{**}*Tatyana.Kropotova@kpfu.ru*, ^{***}*bulat@gareev.net*,
^{****}*g@batalin.com*

Received August 23, 2022

Abstract

This article summarizes the results of a comprehensive study of paleosol profiles in the Lower Kama Region – from the Kazanian reference section near Sentyak and from the reference section of the boundary deposits of the Ufimian and Kazanian in Elabuga. The paleosol profiles in the Kazanian deposits were identified, and their features were analyzed to reconstruct the paleoclimatic and paleolandscapes conditions. The following three types of paleosols were singled out, differing from one another in their degree of development and pedogenic features: Protosols and moderately and strongly developed Calcisols. The latter proved to be characteristic only of the Lower Kazanian deposits. Based on the obtained sedimentological and paleontological characteristics of the host rocks, the fluviolacustrine depositional settings were reconstructed. The pedofeatures of the paleosols (slickensides, carbonate nodules) indicate a seasonally warm climate. The mean annual precipitation inferred from the geochemical indices of the paleosol profiles is 539 and 476 mm/yr for the Lower and Upper Kazanian paleosols, respectively, which, along with the pedofeatures, is indicative of a subhumid/semiarid climate. The oxygen isotopic composition of the carbonate nodules from the paleosols reflects some aridization of the climate in the Early Kazanian (29.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$) compared to the Ufimian (18.7‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$) and Late Kazanian (22.3‰ SMOW $\delta^{18}\text{O}$) times. The lack of gley features argues for the automorphic character of the paleosols, while their small thickness, truncated upper horizons, and weak development in the Upper Kazanian deposits suggest that the rate of sedimentation exceeded the rate of soil formation.

Keywords: paleosol, carbonate nodules, Kazanian, Ufimian, geochemical indices, carbon and oxygen isotopes

Figure Captions

- Fig. 1. Kazanian deposits of the Sentyak section: *a* – geographical location of the section in European Russia; *b* – geological map of the Lower Kama Region, the Sentyak and Elabuga sections marked by white stripes, *c* – general view of the Sentyak section, Upper Kazanian deposits.
- Fig. 2. The sequence of the Kazanian deposits of the Sentyak section with the identified paleosol types (see the text for details). Stratigraphic subdivisions are given according to [9].
- Fig. 3. Type 1 paleosol: *a* – general view, pick length 63 cm; *b* – vertical geochemical profile and histograms of the grain size composition. Sentyak section, Upper Kazanian. The sampling levels marked by yellow circles.
- Fig. 4. Type 2 paleosol: *a* – general view; *b* – vertical geochemical profile and histograms of the grain size composition. Sentyak section, Lower Kazanian. See Fig. 3 for the legend.
- Fig. 5. Type 3 paleosol: *a* – general view, hammer length 30 cm, *b* – vertical geochemical profile and histograms of the grain size composition. Sentyak section, Upper Kazanian. See Fig. 3 for the legend.
- Fig. 6. Micromorphology of the paleosols and pedogenic nodules, Type 2: *a* – silty-clayey intraped mass with detrital sand grains and ferruginous nodules; *b* – carbonate nodule with micritic matrix and secondary calcite around the clots.

Fig. 7. Ternary plots of the chemical composition of the paleosols from the Sentyak and Elabuga sections: *a* – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--CaO+Na}_2\text{O--K}_2\text{O}$ plot, UCC – upper continental crust composition, gray region indicates the range of composition of normal igneous rocks, according to [19]; *b* – $\text{SiO}_2/10\text{--CaO+MgO--Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ plot, by [20]; *c* – $\text{CaO--Na}_2\text{O--K}_2\text{O}$ plot, by [18]. Figure legend: A – andesites, Gr – granodiorites, G – granites, R – recycled sediments; the paleosols marked by circles, non-pedogenic rocks marked by squares.

Fig. 8. Distribution of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in pedogenic carbonates from the Sentyak (P_2kz_1 and P_2kz_2) and Elabuga (P_1u) sections (see the text for details).

References

1. Naugolnykh S.V. Paleosols of the Permian and Early Triassic. In: *Klimat v epokhi krupnykh biosfernykh perestroek* [Climate in the Epochs of Major Biospheric Transformations]. Semikhatov M.A., Chumakov N.M. (Eds.). Moscow, Nauka, 2004, pp. 221–229. (In Russian)
2. Naugolnykh S.V. Kazanian and Tatarian plants of the Permian period. In: Larochkina I.A. (Ed.) *Geologicheskie pamyatniki prirody Respubliki Tatarstan* [Geological Heritage of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Akvarel'–Art, 2007, pp. 236–254. (In Russian)
3. Inozemtsev S.A., Naugolnykh S.V., Yakimenko E.Yu. Upper Permian paleosols developed from limestone in the middle reaches of the Volga River: Morphology and genesis. *Eurasian Soil Sci.*, 2011, vol. 44, no. 6, pp. 604–617. doi: 10.1134/S1064229311060068.
4. 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.
5. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V., Gareev B.I., Batalin G.A., Urazaeva M.N., Kropotova N.V., Vybornova I.B. Paleogeography of accumulation of the Middle-Upper Permian red mudstones in the Kazan Volga Region. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 4, pp. 548–568. (In Russian)
6. Mouraviev F.A., Silantiev V.V., Gareev B.I., Batalin G.A., Vybornova I.B. Paleosols from the Urzhumian (Middle Permian) reference section, Kazan Volga region, Russia. *Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. Surv. Geol. Min. Ecol. Manage., SGEM*, 2018, vol. 18, no. 1.1, pp. 387–394.
7. 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.
8. Silantiev V.V., Zharkov I.Ya., Sungatullin R.Kh., Khassanov R.R. *Mezhdunarodnyi simpozium "Verkhnepermские stratotipy Povolzh'ya". Putevoditel' geologicheskoi ekskursii* [International Symposium "Upper Permian Stratotypes of the Volga Region." A Geological Excursion Guidebook]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1998. 79 p. (In Russian)
9. Nurgaliev D.K., Silantiev V.V., Nikolaeva S.V. (Eds.) *Type and Reference Sections of the Middle and Upper Permian of the Volga and Kama River Regions. A Field Guidebook of XVIII Int. Congr. on Carboniferous and Permian*. Kazan, Kazan Univ. Press, 2015. 208 p.
10. Sementovskii Yu.V. *Usloviya obrazovaniya mestorozhdenii mineral'nogo syr'ya v pozdnepermiskuyu epokhu na vostoке Russkoi platformy* [Conditions for the Formation of Mineral Deposits during the Late Permian in the East of the Russian Platform]. Kazan, Tatar. Kn. Izd., 1973. 256 p. (In Russian)
11. Retallack G.J. Paleosols and applications. In: Reinhardt J., Sigleo W.R. (Eds.) *Field Recognition of Paleosols*. Geol. Soc. Am., Spec. Pap., 1988, art. 216, pp. 1–21. doi: 10.1130/SPE216-p1.
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. Retallack G.J. A pedotype approach to latest Cretaceous and earliest Tertiary paleosols in eastern Montana. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1994, vol. 106, no. 11, pp. 1377–1397. doi: 10.1130/0016-7606(1994)106<1377:APATLC>2.3.CO;2.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, pp. 715–717. doi: 10.1038/299715a0.

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. 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.
17. Folk R.L. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Tex., Hemphill Publ. Co., 1980. 184 p.
18. Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 1995, vol. 23, no. 10, pp. 921–924. doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2.
19. Letnikova E.F., Proshenkin A.L., Veshcheva S.V., Kuznetsov A.B. Neoproterozoic terrigenous deposits of the Tuva-Mongolian massif: Geochemical correlation, sourcelands, and geodynamic reconstruction. *Russ. Geol. Geophys.*, 2011, vol. 52, no. 12, pp. 1662–1671. doi: 10.1016/j.rgg.2011.11.013.
20. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, 1983, vol. 91, no. 6, pp. 611–627. doi: 10.1086/628815.
21. Faure G. *Osnovy izotopnoi geologii* [Principles of Isotope Geology]. Moscow, Mir, 1989. 590 p. (In Russian)

Для цитирования: Муравьев Ф.А., Кропотова Т.В., Гареев Б.И., Баталин Г.А. Палеопочвы красноцветных отложений казанского яруса разреза Сентяк // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2022. – Т. 164, кн. 4. – С. 590–605. – doi: 10.26907/2542-064X.2022.4.590-605.

For citation: Mouraviev F.A., Kropotova T.V., Gareev B.I., Batalin G.A. Paleosols from the Kazanian red beds of the Sentyak section, Russia. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2022, vol. 164, no. 4, pp. 590–605. doi: 10.26907/2542-064X.2022.4.590-605. (In Russian)