

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 552.524+551.736.3+551.83+551.7.022.4

doi: 10.26907/2542-064X.2024.1.145-168

ПЕДОКОМПЛЕКСЫ УРЖУМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ КАЗАНСКОГО ПОВОЛЖЬЯ (ВОСТОЧНАЯ ЕВРОПА): ПРИМЕР ПАЛЕОКЛИМАТА И ПАЛЕОЛАНДШАФТОВ СУБТРОПИКОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ПАНГЕИ В СРЕДНЕЙ ПЕРМИ

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 исследования палеопочвенных профилей разреза уржумского яруса, расположенного на правом берегу Волги в районе д. Гребени, комплексом полевых и лабораторных методов. Выявлено два палеопочвенных профиля, развитых на красноцветных глинистых алевролитах. По педогенным признакам (почвенным горизонтам, карбонатным нодулям, сликенсайдам и др.) палеопочвы классифицируются как вертик кальцисоли высокой степени зрелости, по этим признакам реконструируется сезонно-влажный теплый климат. Среднегодовое количество осадков позднеуржумского времени, рассчитанное по геохимическим индикаторам палеопочв, составило 522 мм/год. Современными аналогами этих палеопочв можно считать красно-бурые почвы сухих субтропиков Средиземноморья или Австралии.

Верхний палеопочвенный профиль представляет собой педокомплекс, состоящий из четырех самостоятельных почв, разделенных в средней части непедогенными прослоями карбонатных пород. В строении педокомплекса выделены один озерно-болотный и два озерно-плайевых седиментационных микроритма, которые указывают на обстановки озерно-аллювиальных равнин и позволяют оценивать длительность его формирования от тысяч до десятков тысяч лет.

В верхней части уржумских отложений опорного разреза в овраге Черемушка выявлен схожий по строению педокомплекс. Минералогический, химический и гранулометрический состав силикокластики обоих педокомплексов, а также изотопный состав педогенных нодулей показали большое сходство. Биостратиграфическое положение педокомплекса оврага Черемушка позволяет считать его одновозрастным педокомплексу разреза Гребени, проводить их прямую корреляцию и использовать в качестве педостратиграфического маркера. Предлагается дать название этому маркирующему горизонту «педокомплекс малиновых глин».

Ключевые слова: палеопочва, педокомплекс, уржумский ярус, корреляция, изотопы углерода и кислорода, геосоль.

Введение

В среднепермскую эпоху территория Казанского Поволжья представляла собой обширный внутриконтинентальный мелководный бассейн в полосе субтропического климата северной части суперконтинента Пангея. Это время

характеризуется началом масштабных климатических, палеогеографических и биотических изменений, которые привели к массовому вымиранию в конце пермского периода. Палеоклиматические и палеогеографические реконструкции для данной территории носят в основном обобщенный характер и требуют большей детализации. Этим обусловлена актуальность данной работы.

Казанское Поволжье является парастратотипической местностью для континентальных отложений уржумского и северодвинского ярусов пермской системы [1, 2]. В этих отложениях встречаются слои пород, измененные почвообразовательными процессами, или палеопочвы [3, 4]. Значение палеопочв в разрезах осадочных пород континентального генезиса велико, их изучение дополняет палеонтологическую характеристику пород. Состав, строение и характер залегания палеопочв позволяет восстанавливать палеоландшафтные и палеоклиматические условия [4], оценивать длительность процессов педогенеза, которая определяется длительностью перерывов в осадконакоплении [3]. Это, в свою очередь, позволяет выявлять границы седиментационных ритмов и использовать их для корреляции разновозрастных отложений.

До начала 2000-х гг. пермские палеопочвы в Казанском Поволжье детально не описывались и не изучались в ходе геологических работ. Первое описание и классификация распространенных типов палеопочв пермских красноцветных пород Казанского Поволжья были сделаны С.В. Наугольных и др. [5, 6], при этом главное внимание было уделено палеопочвам на карбонатных осадках, или кальциевым литосолям [6]. Палеопочвы на красноцветных алевритоглинистых осадках классифицировались этими авторами как элювиально-иллювиальные глейсоли и палеолесситы [5]. Детальное описание красноцветных палеопочв опорного разреза уржумского и северодвинского ярусов пермской системы Монастырского оврага и вмещающих пород было выполнено в работах [7–10]. Уржумские палеопочвы были классифицированы как вертисоли и кальцисоли [7, 10], по педогенным признакам которых был реконструирован полуаридный переменнно-влажный климат [9, 10]. По особенностям залегания почвовмещающих пород выявлены палеогеографические условия плоских озерно-аллювиальных равнин [8]. Такие же исследования проведены в парастратотипическом разрезе уржумского яруса оврага Черемушка [7, 11, 12]. В обоих разрезах выполнены изотопно-геохимические исследования педогенных и осадочных карбонатов, выделены изотопно-геохимические циклы [9, 12, 13]. По особенностям залегания пород были также выделены седиментационные циклы, границы которых часто проводились по поверхностям палеопочв [8, 12, 13]. В работе [14] впервые предпринята попытка корреляции уржумских педокомплексов Монастырского оврага и оврага Черемушка на основе сравнения минералогических, педогенных и геохимических признаков, а также стратиграфического положения в разрезах. По геохимическим признакам педокомплексов оценено среднее годовое количество осадков для верхнеуржумского времени, которое составило около 400 мм/год [10, 14].

В разрезе Гребени, расположенном в 30 км южнее Казани на правом берегу Волги [2] (рис. 1, *а–в*), вскрывается нижняя часть уржумских отложений, в которых С.В. Наугольных выявлены и кратко описаны палеопочвы на карбонатных

озерных осадках [5]. Здесь им выделено два уровня известняков мощностью по 0.1 м с корнями *in situ*, оставшимися, предположительно, от членистостебельных растений *Paracalamitina* гидрофильных ассоциаций [5].

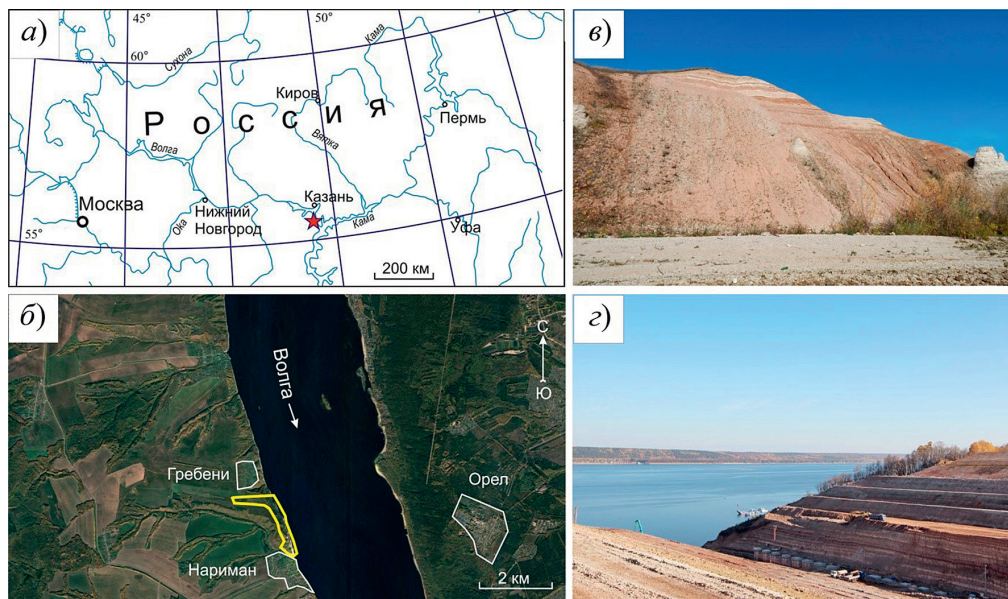


Рис. 1. Разрез отложений уржумского яруса Гребени: а) местоположение разреза на карте европейской территории России; б) спутниковый снимок с серией обнажений (выделено желтым); в) нижняя часть разреза, береговое обнажение в районе д. Нариман; г) верхняя часть разреза в выемке под дорожное строительство в районе д. Гребени

В непосредственной близости от этого разреза в 2020 г. в правом борту Волги была сделана свежая выемка под строительство федеральной трассы М12 и мостового перехода через Волгу. Выемкой вскрыта ранее недоступная для наблюдения верхняя часть разреза уржумского яруса (рис. 1, г), представленная континентальными красноцветными отложениями мощностью 50 м, содержащими палеопочвенные профили.

Целью данной работы является палеоклиматическая и палеоландшафтная реконструкция на основе детального описания палеопочвенных профилей разреза Гребени, а также его корреляция с опорным разрезом уржумского яруса.

1. Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили обнажения уржумских отложений в береговых склонах Волги и в бортах выемки под строительство федеральной трассы М12 (рис. 1), которые последовательно наращивают друг друга, формируя непрерывный разрез уржумского яруса мощностью около 70 м.

Всего было отобрано 44 образца, из них 17 образцов из двух палеопочвенных профилей, 16 образцов осадочных карбонатных пород по всему разрезу со средним шагом 5 м и 7 образцов педогенных карбонатных нодулей. Описание осадочных пород разреза и палеопочвенных профилей учитывало визуальные признаки, определяемые полевыми методами (цвет, мощность, структурно-текстурные особенности, наличие включений, корневых ходов

и др.). Для выделения элементарных циклитов в разрезе использовалась методика, включающая прослеживание явных и скрытых несогласий [8, 13], при этом границами циклитов служили либо эрозионные врезы песчаников, либо поверхности субаэральной экспозиции, представленные глинистыми брекчиями или палеопочвами. Документация палеопочв проводилась по методике Реталлака [15], их классификация проводилась по схеме Мака и др. [16].

Лабораторные исследования включали определение карбонатности и нерастворимого остатка, оптическую микроскопию палеопочв, карбонатных нодулей, а также песчано-пылевой фракции палеопочв, рентгено-флуоресцентный анализ (РФА), рентгенофазовый анализ илистой фракции палеопочв, гранулометрический анализ. Илистая фракция выделялась путем диспергирования нерастворимого остатка с помощью ультразвука и его последующего центрифугирования. Карбонатные породы разреза и карбонатные нодули из палеопочв исследовали с помощью анализа стабильных изотопов углерода и кислорода, при этом использовали микритовые разности пород без признаков вторичных изменений. Анализ проводили методом кислотной обработки карбонатов с последующим разделением изотопов углерода и кислорода из углекислого газа. Исследования проводили на изотопном масс-спектрометре Delta V Plus (Thermo Fisher Scientific, Германия) в лаборатории элементного и изотопного анализа Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Расчет геохимических модулей для генетической и палеоклиматической интерпретации палеопочв выполняли по методике, изложенной в работах [17–19], используя мольные доли оксидов химических элементов. Детальное описание методик лабораторных исследований представлено в работах [8, 10].

2. Результаты

В верхней части разреза дорожной выемки выявлено два палеопочвенных профиля, которые залегают в 15 м по вертикали друг от друга и приурочены к отложениям верхней части ишеевской свиты уржумского яруса (рис. 2).

Описание палеопочвенных профилей. Нижний почвенный профиль мощностью около 1.4 м залегает между известняками серыми и голубовато-серыми с корневыми ходами и волнистой слоистостью и имеет следующее строение (рис. 3) (сверху вниз):

D (перекрывающий слой, 40 см). Известняк толстоплитчатый, массивный, зеленовато-серый, доломитовый, с тонкими прослойками зеленоватых глин в нижней части. Переход по цвету и составу, граница резкая, волнистая.

Палеопочва (0–135 см).

Bss (0–20 см). Плотный, суглинистый, красновато-бурого цвета, структура блочно-комковатая. Размеры блоков от 5 до 10 см. Вскипает от HCl. На поверхности блоков наблюдаются сликенсайды (зеркала скольжения). В нижней части содержит мелкие глеевые пятна. Переход резкий по цвету и составу, граница неровная, языковатая.

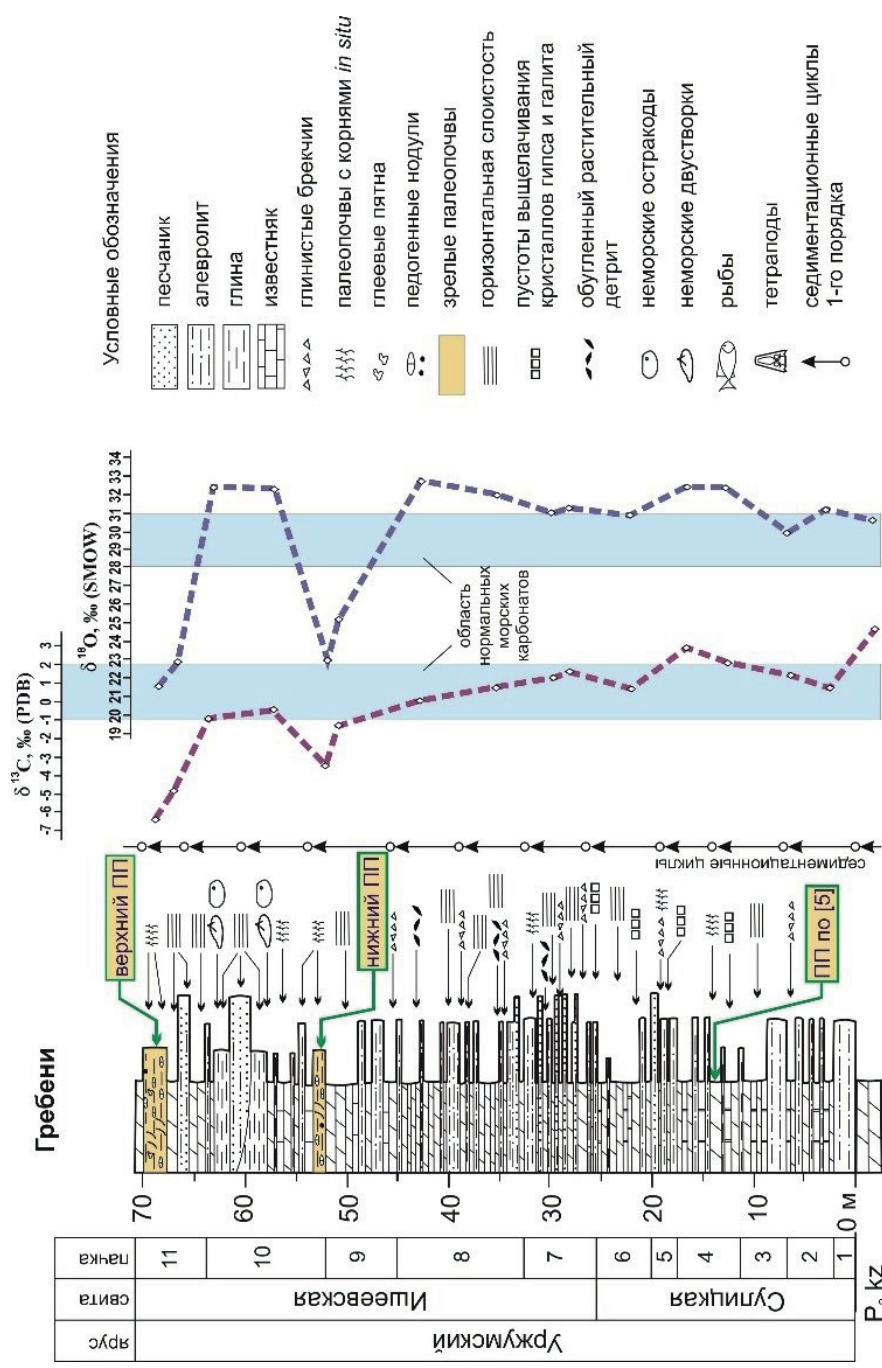


Рис. 2. Сводный разрез уржумских отложений Гребени с палеочленными профилями (ПП) и вариации величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в осадочных карбонатах. Стратиграфические подразделения выделены условно путем корреляции с опорным разрезом оврага Черемушка [2]. Названия пачек: 1 – глинисто-песчаная, 2 – мергельная, 3 – глинистая, 4 – доломитовая, 5 – песчано-глинистая, 6 – глинисто-мергельная, 7 – «кварцевых песчаников», 8 – «зеленых глин», 9 – «черемушка», 10 – «сленточных мергелей», 11 – «малиновых глин», 12 – «табачных песчаников», 13 – «крутоовражная» (по [2])

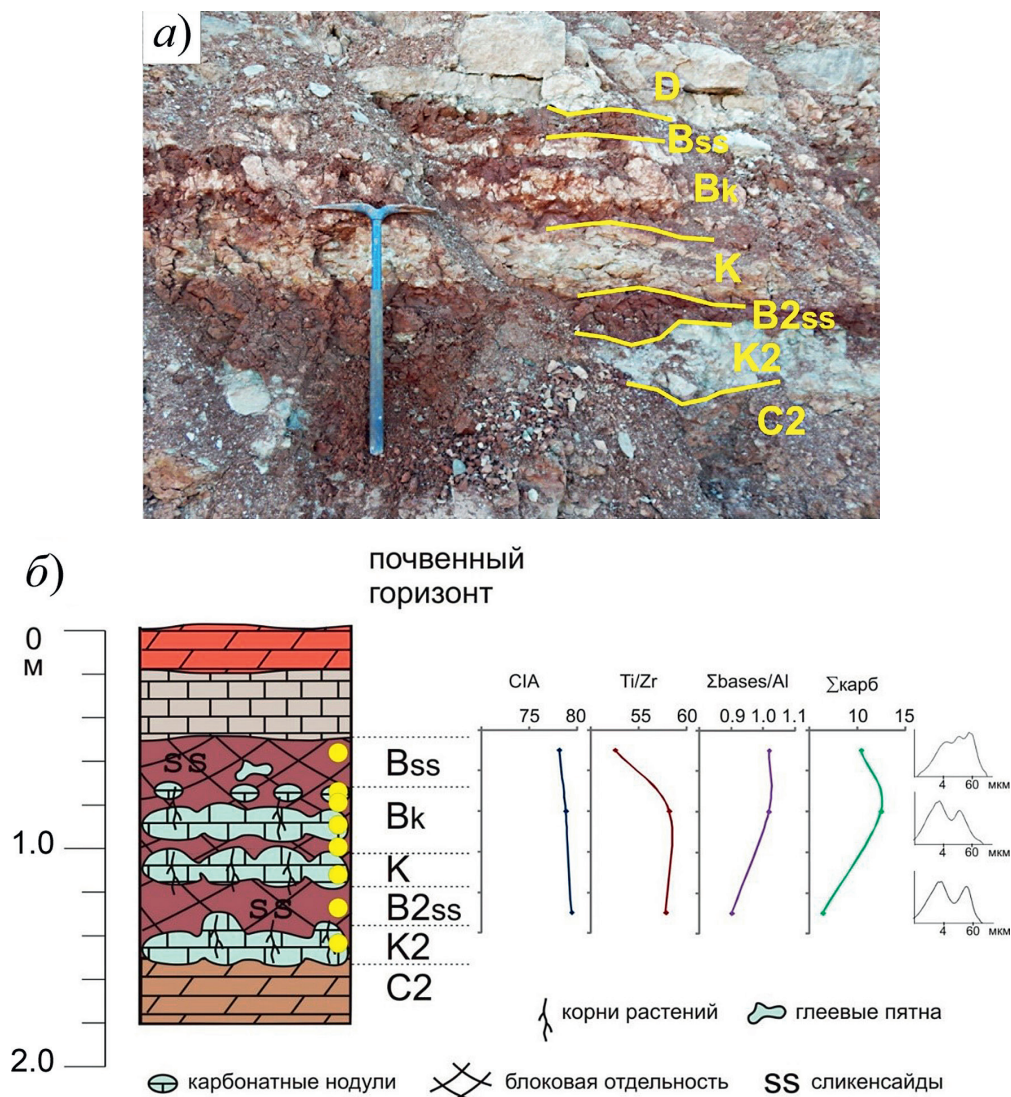


Рис. 3. Строение нижнего почвенного профиля: а) общий вид с выделенными почвенными горизонтами, длина кайла – 63 см; б) вертикальный геохимический профиль и гистограммы гранулометрического состава. Разрез Гребени, уржумский ярус. Желтые точки показывают уровни отбора проб. Обозначение почвенных горизонтов – по [4, 15]: В – внутрипочвенный иллювиальный или структурный горизонт, К – внутрипочвенный массивный карбонатный горизонт (калькрет), С – почвоматеринская порода, подстилающая внутрипочвенные горизонты, более выветрелая, чем вмещающие породы и не несущая следов педогенеза, D – подстилающая рыхлая порода, лежащая под горизонтом С или над почвой, не несущая следов педогенеза. Цифры рядом с почвенными горизонтами обозначают порядок залегания самостоятельных почв в вертикальном профиле сверху вниз, например, К2 – вторая почва, массивный карбонатный горизонт. Специфика почвенных горизонтов – по [4, 15]: Вк – наличие карбонатов кальция, Bss – наличие slickensides (зеркал скольжения) на поверхности педов (почвенных блоков). Описание почвенных горизонтов, расшифровка геохимических индексов и гистограмм гранулометрического состава приведены в тексте

Вк (20–70 см). Плотный, суглинистый, красновато-бурого цвета, структура блочно-комковатая. Размеры блоков от 5 до 15 см. Вскипает от HCl.

Содержит два уровня плотных белых и розовато-белых тесно сросшихся карбонатных нодулей размером от 3 до 15 см, которые формируют субгоризонтальные прослои. Границы нодулей окаймлены прослоями и примазками красно-бурой глины. Нодули содержат редкие отпечатки корневых систем субвертикальной ориентации диаметром до 2–3 мм. Характерны сликенсайды на поверхностях почвенных блоков. Переход постепенный по цвету и составу, граница волнистая.

К (калькрет, 70–95 см). Плотный известняк розовато-серого цвета, разбит трещинами на отдельные линзовидные блоки толщиной от 3 до 15 см с волнистой поверхностью. Наблюдаются белесые отпечатки корневых систем субвертикальной ориентации до 5 мм в диаметре. Переход довольно резкий по смене цвета и состава, граница волнистая.

B2ss (95–115 см). Плотный, суглинистый, вишнево-бурого цвета, структура блочно-комковатая. Размеры блоков от 2 до 10 см. Слабо вскипает от HCl. На поверхностях блоков развиты сликенсайды. Переход резкий по изменению цвета и состава, граница карманообразная.

K2 (калькрет, 115–135 см). Плотный известняк белого и светло-серого цвета, представлен тесно сросшимися округлыми нодулями линзовидной формы размером от 5 до 15 см. Содержит частые отпечатки корневых систем субвертикальной ориентации до 5 мм в диаметре. Переход довольно четкий по цвету и появлению слоистой структуры.

C2 (135–165 см). Мергель розовато-серый, алевроитовый, плитчатый, не содержит корневых отпечатков.

Верхний почвенный профиль мощностью 2.2 м подстилается и перекрывается розовыми тонкоплитчатыми мергелями с прослоями алевролитов и имеет следующее строение (рис. 4):

D (перекрывающий слой, 30 см). Мергель розовый, тонкоплитчатый, алевроитовый. Переход довольно четкий, по цвету и структуре, граница волнистая.

Палеопочва (0–220 см).

Vk (0–30 см). Рыхлый, мучнистый, белого и розовато-белого цвета, содержит плотные уплощенные карбонатные нодули размером от 3 до 15 см. В нодулях встречаются редкие отпечатки корневых систем диаметром до 2 мм. Переход резкий по цвету и составу, граница волнистая.

Bss (30–50 см). Плотный, суглинистый, вишнево-красного цвета, структура ореховатая. Основная масса содержит редкую сеть тонких светло-серых корневых отпечатков, сильно вскипает от HCl. В нижней части встречаются небольшие глеевые пятна. На поверхности почвенных блоков наблюдаются сликенсайды. Переход четкий по цвету и составу, граница неровная, языковатая.

K2 (50–100 см). Известняк светло-серого и желтовато-серого цвета, характеризуется блочно-призматической отдельностью, размеры блоков от 5 до 20–25 см. На поверхности и внутри блоков содержит густую сеть субвертикальных корневых каналов до 5 мм в диаметре, часто заполненных кристаллическим кальцитом. Переход четкий по появлению слоистой структуры и изменению цвета.

C2 (100–115 см). Известняк плотный, темно-серого цвета, волнистослоистый, верхняя и нижняя границы неровные, не содержит отпечатков корневых систем.

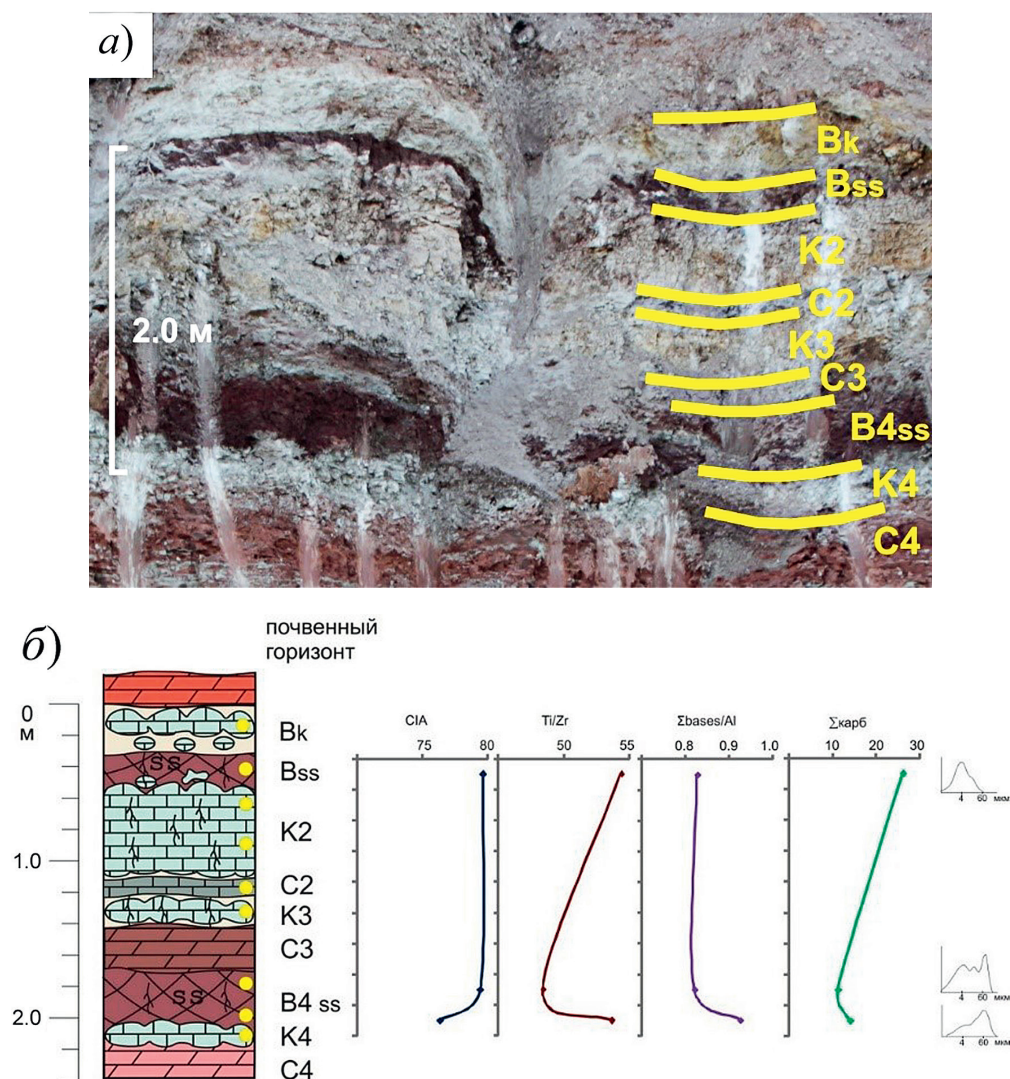


Рис. 4. Строение верхнего почвенного профиля: а) общий вид с выделенными почвенными горизонтами; б) вертикальный геохимический профиль и гистограммы гранулометрического состава. Разрез Гребени, уржумский ярус. Желтые точки показывают уровни отбора проб. Описание почвенных горизонтов, расшифровка геохимических индексов и гистограмм гранулометрического состава приведены в тексте. Условные обозначения см. на рис. 3

K3 (115–130 см). Известняк светло-серого и желтовато-серого цвета, аналог горизонта K2. Переход четкий по появлению блочно-призматической структуры, изменению цвета.

C3 (130–160 см). Мергель розовато- и буровато-серый, плитчатый, алевроитовый, не содержит отпечатков корневых систем, граница волнистая.

B4ss (160–200 см). Плотный, суглинистый, от темно-красного до вишнево-красного цвета, структура ореховая. Основная масса содержит редкие сизые отпечатки корней, вскипает от HCL. На поверхности почвенных блоков наблюдаются сликенсайды. В верхней части встречаются редкие пятна горчично-желтого цвета.

Переход четкий по цвету и составу, граница неровная, языковатая.

К4 (200–220 см). Известняк нодулярный серого цвета, представляет собой тесно сросшиеся линзовидные нодулы размером от 5 до 20 см. Встречаются редкие тонкие корневые каналы. Переход довольно четкий по изменению цвета и появлению плитчатой структуры, граница волнистая.

С4 (220–240 см). Мергель розовато-бурый, алевроитовый, плитчатый, не содержит корневых отпечатков, в нижней части горизонтально-слоистый.

Геохимия и гранулометрия палеопочвенных профилей. Для генетической интерпретации палеопочв в работе использованы геохимические модули: CIA, Ti/Zr, $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$, а также суммарное содержание карбонатов $\Sigma\text{карб}$ (% масс.). Параметр CIA (Chemical Index of Alteration) равен отношению глинозема к сумме глинозема и оснований ($\text{CIA} = (\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})) \times 100$) [17], он показывает степень выноса щелочных металлов и кальция из почвенного профиля в процессе выветривания, т. е. степень выветрелости обломочного материала. Индекс Ti/Zr отражает отношение оксида титана к оксиду циркония ($\text{Ti}/\text{Zr} = \text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$) [19]. Эти элементы нечувствительны к процессам выветривания в почвенном профиле, поэтому отношение Ti/Zr определяется соотношением обломочных минералов рутила и циркона, что отражает изменение состава питающих провинций, или областей сноса [19]. Параметр $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$ ($\Sigma\text{bases}/\text{Al} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$) [18] показывает отношение щелочных и щелочноземельных элементов, выносимых из почвенного профиля атмосферными осадками в процессе выветривания, к глинозему, накапливающемуся при этом в почве. Этот параметр используется также для оценки среднегодового количества осадков и применяется к карбонатным палеопочвам [18], при этом величина отношения $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$ будет обратно пропорциональна количеству осадков. Суммарное содержание первичных карбонатов $\Sigma\text{карб}$ в почвенном профиле в целом определяется соотношением количества осадков и испарения, т. е. служит показателем степени аридности и сезонности климата [20]. С увеличением степени аридности климата будет увеличиваться содержание карбонатов в почве и будет уменьшаться глубина залегания карбонатного горизонта [20].

Гистограммы гранулометрического состава (рис. 3, б и 4, б) показывают распределение по размеру обломочных зерен в почве или породе. При этом пики на гистограммах соответствуют наиболее распространенным размерам зерен в микрометрах.

В нижнем палеопочвенном профиле степень выветрелости обломочного материала, определяемая индексом CIA, по всему профилю высокая (рис. 3, б), наибольшая карбонатность характерна для его средней части, значения $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$ слабо увеличиваются вверх по профилю. Гранулометрический состав в верхней части профиля становится более грубым за счет увеличения доли пылеватых зерен.

Верхний палеопочвенный профиль характеризуется также высокой степенью выветрелости обломочного материала (CIA) (рис. 4, б), повышенной карбонатностью в верхней части, более низкими значениями $\Sigma\text{bases}/\text{Al}$, чем в нижнем профиле. Гранулометрический состав в верхней части профиля более тонкий, т. е. характеризуется большей глинистостью, чем в нижней части.

Микроморфология и минералогия палеопочвенных профилей. Внутрипочвенная масса в нижнем палеопочвенном профиле слабо агрегирована, имеет пятнистую микротекстуру, песчаные зерна кварца образуют скопления в пылевато-глинистой массе, к которым приурочены пятна обохривания (рис. 5, *а*). Карбонатные нодулы сложены кальцимикритом, в массе которого равномерно рассеяны обломочные зерна кварца и других минералов (рис. 5, *б*).

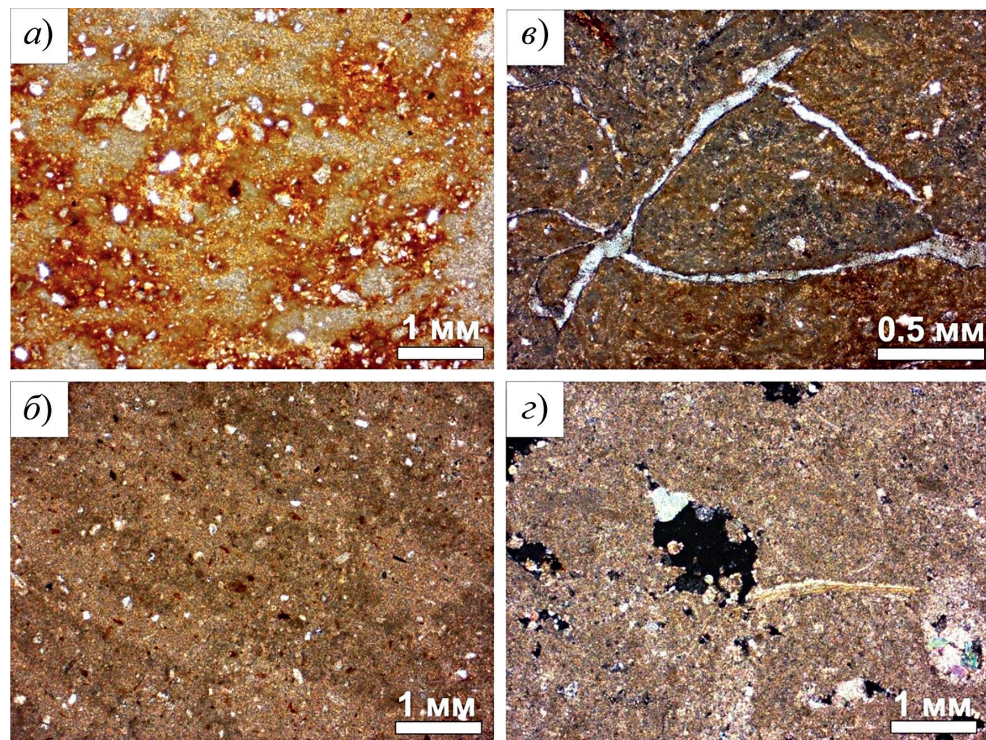


Рис. 5. Микроморфология палеопочв: *а*) пылевато-глинистая внутрипочвенная масса со скоплениями обломочных зерен кварца и обохриванием вокруг них, нижний профиль; *б*) карбонатный нодуль с «плавающими» зернами кварца в основной микритовой массе, нижний профиль, *в*) почвенные микроагрегаты с заметной ориентацией пылевато-глинистой массы и редкими обломочными зернами, верхний профиль, *з*) ризоидный известняк горизонта КЗ, фрагменты раковин остракод и двустворок, корневые пустоты с кристаллами вторичного кальцита, верхний профиль

Верхний палеопочвенный профиль отличается хорошей агрегацией внутрипочвенной массы с ориентацией глинистых частиц в микроагрегатах (рис. 5, *в*) и меньшей долей обломочных зерен по сравнению с нижним профилем. Известняки, входящие в состав профиля, характеризуются присутствием фрагментов раковин остракод и двустворок, а также широким развитием корневых пустот до 1–2 мм в диаметре на фоне общей микритовой массы (рис. 5, *з*).

По гранулометрическому составу почвовмещающие породы обоих профилей относятся к алевритам и песчанистым алевритам, пылеватая фракция в них превышает 50%. Минералогический состав песчаной и пылевой фракции представлен кварцем, кварцитами, редкими зернами полевых шпатов, слюды и рудных минералов. Илистая фракция верхнего и нижнего профилей представлена смектитом, иллитом, кварцем и гематитом (рис. 6).

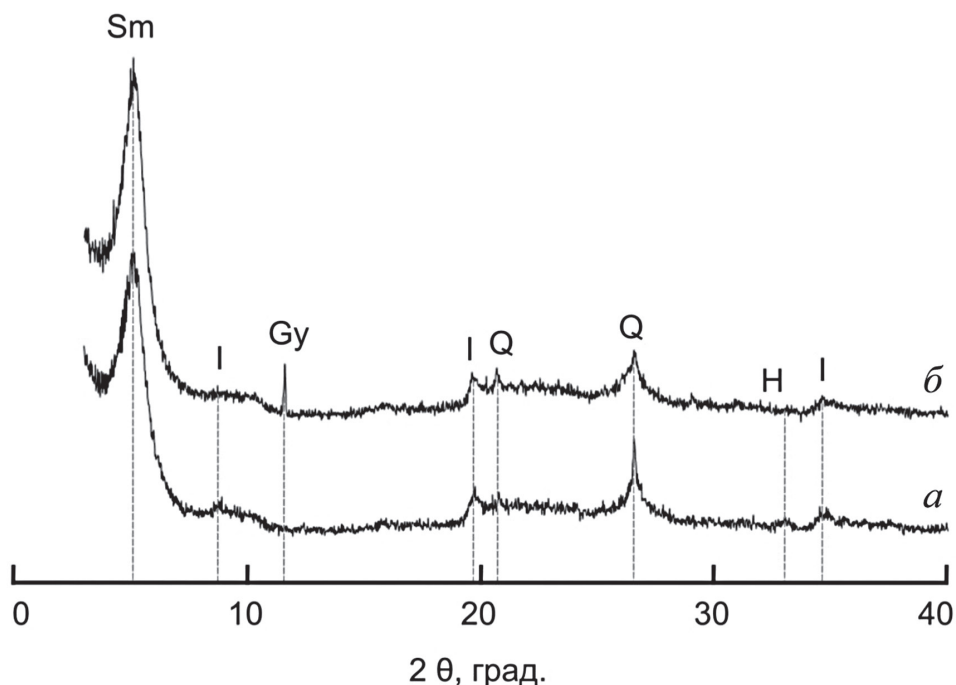


Рис. 6. Дифрактограммы илистой фракции горизонта Bss нижнего (а) и верхнего (б) палеопочвенных профилей. Sm – смектит, I – иллит, Gy – гипс, Q – кварц, H – гематит. Образцы насыщены этиленгликолем

Изотопия палеопочвенных профилей и карбонатных пород. Значения величин δ изотопов углерода и кислорода в педогенных карбонатах нижнего профиля составили -3.2‰ $\delta^{13}\text{C}$ и 27.5‰ $\delta^{18}\text{O}$, в верхнем профиле -4.6‰ и 22.1‰ соответственно. Вариации величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в осадочных карбонатах по разрезу Гребени приведены на рис. 2, здесь можно выделить два изотопно-геохимических цикла – нижний, включающий сулицкую и нижнюю половину ишеевской свиты, и верхний, соответствующий верхней половине ишеевской свиты. В нижнем цикле значения величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ находятся в пределах области нормальных морских карбонатов или немного превышают ее, в верхнем цикле наблюдаются резкие отрицательные и положительные экскурсы значений этих величин.

3. Обсуждение

В нижнем палеопочвенном профиле накопление осадков происходило в две стадии, что подтверждается изменением значения Ti/Zr и гранулометрического состава верхней части профиля (рис. 3, б). Согласно [21] строение этого профиля сложное, т. е. процесс осадконакопления проходил в две стадии и сопровождался процессом педогенеза, скорость которого была выше скорости накопления осадков. Об этом свидетельствует и наличие нескольких карбонатных горизонтов в профиле (рис. 3, б). Нижний палеопочвенный профиль классифицируется как вертик кальцисоль по классификации [16], так как его главным признаком является присутствие педогенных карбонатов. Широкое развитие сликенсайдов на поверхности почвенных блоков и смектито-

вый состав илистой фракции позволяют добавить подкласс «вертик» к классу «кальцисоль» согласно классификации [16].

Сликенсайды являются результатом многократно повторяющихся процессов набухания-усадки в ходе увлажнения-высыхания, т. е. отражают сезонность выпадения осадков [4]. Присутствие карбонатных нодулей и горизонтов свидетельствует об испарении почвенных вод, связанном с аридностью климата [3, 20]. Микростроение внутрипочвенной массы указывает на биотурбацию осадка корневой системой и перераспределение минералов железа в почвенном профиле, т. е. их иллювирование по проницаемым зонам.

Строение верхнего палеопочвенного профиля составное, по [21], он представляет собой педокомплекс, состоящий из четырех почвенных профилей, последовательно наложенных друг на друга, разделенных в средней части прослоями непедогенных пород (горизонты С2 и С3, рис. 4, б). Высокая степень выветрелости обломочного материала (параметр CIA) в верхней и нижней частях педокомплекса свидетельствует о его многократном переотложении и прохождении через циклы выветривания в более древних почвах.

Верхняя почва в составе педокомплекса (горизонты Bk-Bss, рис. 4, б) классифицируется согласно [16] как вертик кальцисоль в силу широкого развития карбонатных нодулей и сликенсайдов, нижняя почва (горизонты B4ss-K4, рис. 4, б) – как вертисоль, так как ореховатая отдельность и развитие сликенсайдов на поверхностях почвенных блоков являются ведущим признаком. Степень зрелости этих палеопочв интерпретируется как сильно развитые по специфической мелкокомковатой и ореховатой структуре глин. Одновременное присутствие охристых стяжений и глеевых пятен во внутрипочвенной массе является признаком перераспределения соединений железа в почве, связанного с сезонным увлажнением сверху атмосферными осадками, контролирующим окислительно-восстановительные условия [3, 22].

Как и в нижнем палеопочвенном профиле, присутствие сликенсайдов и карбонатных нодулей в верхней почве педокомплекса свидетельствует о переменном-влажном полуаридном климате. По геохимическому индикатору $\Sigma \text{bases}/\text{Al}$ [18], который применяется для карбонатных палеопочв, было вычислено среднегодовое количество осадков по данным химического анализа горизонта Bss. Среднегодовое количество осадков, рассчитанное согласно [18] по формуле

$$P = -259.34 \ln\left(\frac{\sum \text{bases}}{\text{Al}}\right) + 759.052,$$

составило 522 мм/год. В качестве современных аналогов этих палеопочв можно назвать красно-бурые почвы сухих субтропиков Средиземноморья или Австралии [23].

В средней части педокомплекса залегают две почвы (горизонты K2 и K3, рис. 4, б), развитые на озерных известняках, разделенные и подстилающиеся слабоизмененными карбонатными осадками (горизонты С2 и С3, рис. 4, б). Наиболее близкими к ним из современных почв являются кальциевые литосоли [5, 23] и карбопетроземы [6]. Вертикальная призматическая отдельность и развитие корневых отпечатков по всей мощности этих почв на извест-

нях свидетельствуют о рыхлом сложении карбонатного осадка в процессе почвообразования, что могло иметь место в крайне мелководных прибрежных условиях озерных водоемов. Литификация карбонатного осадка происходила на начальных стадиях осушения озерного бассейна, либо после его полного осушения и выхода на поверхность карбонатного ила. Этот процесс был достаточно быстрым, на что указывает микритовый размер карбонатных зерен. Сходные по строению палеопочвы на известняках описаны в опорном разрезе уржумского и северодвинского ярусов в Монастырском овраге [6] и имеют широкое развитие в уржумских отложениях Казанского Поволжья.

В строении верхнего педокомплекса можно выделить три седиментационных ритма (рис. 4, б): 1) озерно-плайевый (C4-B4ss), сопровождавшийся педогенезом на поздней стадии, 2) озерно-болотный (C3-C2) с почвообразованием на средней стадии и 3) озерно-плайевый (K2-Bk) с педогенезом на всех стадиях. Известковые озерные осадки горизонтов K4 и K2 после осушения озера подвергались частичному размыву и карстованию, о чем свидетельствует их карманообразные контакты с перекрывающими алеврито-глинистыми слоями, которые формировались в сухих и плоских бессточных котловинах (плайях) поверх озерных осадков.

Таким образом, процесс осадконакопления верхнего педокомплекса был неравномерным, стадии быстрого накопления сменялись стадиями медленного накопления либо перерывами, сопровождавшимися педогенезом. Длительность формирования зрелых почв на алеврито-глинистых осадках оценивается в сотни–первые тысячи лет [3]. В составе педокомплекса таких почв две, из этого следует, что общее время их формирования можно оценить в несколько тысяч лет. Между этими почвами залегают две почвы на известняках общей мощностью 0.65 м, их накопление шло медленнее алеврито-глинистых осадков и могло занимать также первые тысячи лет. Кроме того, процесс накопления непедогенных известняков и мергелей общей мощностью 0.45 м, залегающих между палеопочвами, мог продолжаться от сотен до первых тысяч лет, столько же мог занимать процесс размыва и карстования известняков горизонта K2 (рис. 4). Таким образом, суммарно процесс формирования всего педокомплекса с учетом времени накопления осадков составлял от первых тысяч до десятков тысяч лет. Озерно-болотные и озерно-плайевые обстановки накопления осадков формировались в условиях плоской низменной суши, озерно-аллювиальных равнин, которые сохранялись длительное время, благодаря режиму тектонической стабильности территории [21]. Весь педокомплекс со зрелыми почвами отражает длительный перерыв в осадконакоплении минимум в несколько тысяч лет, его верхняя граница является границей седиментационного цикла [3, 13] и может использоваться в качестве литостратиграфического маркера при корреляции разрезов.

Схожий по строению педокомплекс, залегающий также в верхней части уржумских отложений, в пачке «малиновых глин», выявлен нами ранее в опорном разрезе уржумского яруса оврага Черемушка [7, 9, 10], в 23 км к северу от разреза Гребени. Он представляет собой последовательность из 3–4 почв, разделенных в средней части непедогенными слоистыми породами (рис. 7).

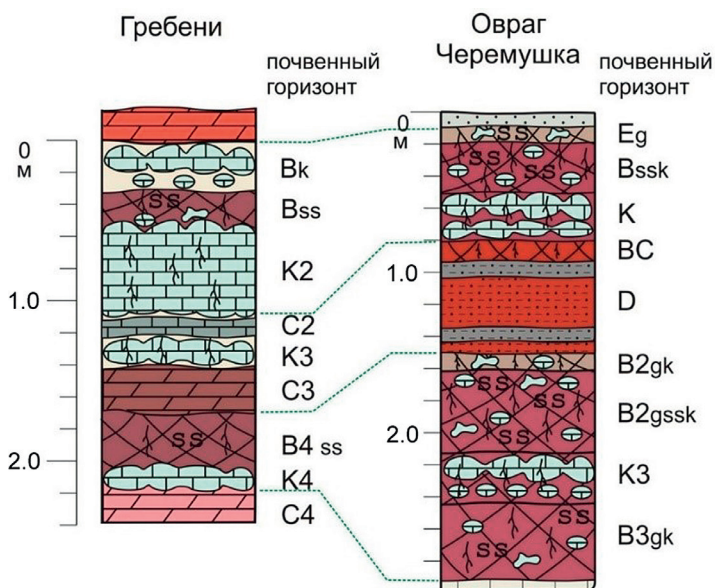


Рис. 7. Строение, седиментационные ритмы и корреляция педокомплексов Гребени и оврага Черемушка (пояснения – в тексте). Условные обозначения см. на рис. 3

Геохимические и минералогические исследования обломочных пород обоих педокомплексов показали сходство их химического состава, размеров и степени окатанности зерен, минерального состава илистой и песчано-пылевой фракций [7, 10], а также изотопного состава углерода и кислорода педогенных нодулей (табл. 1).

Табл. 1

Сравнительная характеристика педокомплексов разреза Гребени и оврага Черемушка (по [14])

Педокомплекс	Мощность, м	Стадия развития	Количество почв	Минералогия илистой фракции	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (SMOW)
Овраг Черемушка	2.8	III–IV	3	Смектит > иллит > хлорит	-5.2	21.1
Гребени	2.2	IV	4	Смектит > иллит	-4.9	21.8

Примечание: PDB – Pee Dee Belemnite, стандарт, SMOW – Standard Mean Ocean Waters, стандарт.

Корреляция этих педокомплексов в разрезе уржумского яруса подтверждается в обоих случаях залеганием в 5–6 м под ними характерной пачки зеленовато-бурых песчаников, подстилающихся и перекрывающихся горизонтально-слоистыми «шоколадными» глинами с отпечатками неморских двустворчатых моллюсков *Palaeomutela sp.* и *Prilukiella sp.*, входящих в биоценоз *Palaeomutela wuhrmani* уржумского яруса Казанского Поволжья [9] (рис. 8). Стратиграфический потенциал педокомплекса оврага Черемушка усиливается находками в его

нижней части и в перекрывающем слое остатков рыб класса *Actinopterygii*, зубов и фрагментов костей амфибий *Archegosauroides* *fam. ind.*, рептилий *Dinocephalia* *fam. ind.* и др. [12].

Различие в строении и мощности этих педокомплексов (рис. 7) определяется различиями их ландшафтных условий формирования. Педокомплекс оврага Черемушка формировался на глинисто-алевритовых осадках затопливаемых пойменных равнин, что нашло отражение в широком развитии здесь глеевых признаков. Непедогенные слои алевро-песчаного состава, залегающие в средней части педокомплекса, содержат прослои темно-серых плитчатых глинистых алевролитов с обугленным растительным детритом, которые можно отнести к старичным отложениям. Таким образом, в составе педокомплекса оврага Черемушка также можно выделить три седиментационных ритма, соответствующие ритмам педокомплекса Гребени: нижний, включающий две нижние почвы, средний, осадочный, не несущий следов педогенеза, и верхний, включающий верхнюю почву (рис. 7). Все эти ритмы аллювиальные, они отражают различные фациальные обстановки аллювиальных равнин, связанные в основном с удаленностью от главного русла [20]. В целом скорость накопления осадков в педокомплексе оврага Черемушка была выше, а перерывы в осадконакоплении были менее длительными, чем в педокомплексе Гребени, поэтому первый имеет большую мощность.

Изотопно-геохимические циклы, выделенные в разрезе Гребени, хорошо прослеживаются и в опорном разрезе уржумского яруса в овраге Черемушка (рис. 8), где исследования были проведены нами ранее [14, 24]. Нижний цикл, включающий сулицкую свиту и пачки «кварцевых песчаников» и «зеленых глин» ишеевской свиты, представлен осадками опресненного реликтового морского бассейна, унаследованного от казанского времени. Свидетельством этому являются значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатных породах, близкие к нормальным морским карбонатным осадкам, пустоты выщелачивания кристаллов гипса и галита, а также практически полное отсутствие фауны в породах этого интервала. В верхнем изотопно-геохимическом цикле, включающем пачки «черемушка», «ленточных мергелей» и «малиновых глин», наблюдаются два резких отрицательных экскурса $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ до значений $-6-8\text{‰}$ PDB и $20-23\text{‰}$ SMOW соответственно (рис. 8), хорошо коррелирующие между собой в обоих изученных разрезах и отражающие смену обстановок осадконакопления на преимущественно пресноводные, аллювиально-озерные.

Количество седиментационных циклов, выделенных по литологическим признакам, от подошвы уржумского яруса до педокомплексов, различается в разрезах Гребени и оврага Черемушка (10 и 8 соответственно). Это можно объяснить расположением разреза оврага Черемушка в сулицкое время ближе к центральным частям осадочного бассейна, где преобладала карбонатная седиментация и было меньше перерывов в накоплении осадков, чем в его краевых частях, поэтому наблюдается меньшее число явно выраженных седиментационных циклов.

Таким образом, стратиграфическое положение и уникальность в разрезе уржумского яруса этих педокомплексов, сходство их строения, степени зрелости почв, минералогических, геохимических и изотопных признаков позволяет проводить их прямую корреляцию и использовать в качестве литологического маркера. В зарубежных стратиграфических классификациях такие палеопочвы или их комплексы, хорошо выраженные в разрезе и прослеживающиеся на большие расстояния по простиранию, рассматривают как «геосоли» или «педостратиграфические единицы» [25, 26] и используют при корреляции разрезов наряду с литостратиграфическими, биостратиграфическими и другими маркерами [27]. Примеры использования педостратиграфии в исследовании палеозойских морских и континентальных отложений приведены в работах [28–31] и многих других. При этом коррелируемой является верхняя поверхность палеопочв или педокомплексов, которая является поверхностью стратиграфического несогласия и отражает значительный перерыв в осадконакоплении.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Проведена детальная реконструкция палеоклиматических и палеоландшафтных условий средней перми по палеопочвам и вмещающим отложениям уржумского яруса на территории Казанского Поволжья, входящей в северную часть суперконтинента Пангея.

2. В верхней части разреза Гребени выявлено два профиля палеопочв, развитых на красноцветных алевропелитах. Педогенные признаки (сликенсайды, карбонатные нодули, глеевые пятна) исследуемых палеопочв свидетельствуют о теплом переменном-влажном климате во второй половине уржумского века, характерном для субтропиков. Среднегодовое количество осадков для этого времени, вычисленное по геохимическим признакам почвенного профиля, составляет 522 мм/год.

3. Почвовмещающими породами в обоих случаях являются алевроитовые глины аллювиального/плайевого генезиса, залегающие среди озерных и озерно-болотных мергелей и известняков, по которым реконструируются обстановки озерно-аллювиальной равнины.

4. Оба почвенных профиля в целом классифицируются как вертикаль кальцисоли благодаря развитию сликенсайдных поверхностей почвенных блоков и присутствию карбонатных нодулей.

5. Верхний палеопочвенный профиль является составным, состоит из четырех самостоятельных палеопочв высокой степени зрелости, имеет мощность 2.2 м и содержит прослои непедогенных мергелей и известняков, т. е. представляет собой педокомплекс, который формировался во время длительного перерыва в осадконакоплении и режима тектонической стабильности территории.

6. Корреляция разреза Гребени с опорным разрезом уржумского яруса в овраге Черемушка выявила расположение в последнем сходного по строению педокомплекса. Биостратиграфическое положение в разрезе, седиментологические и изотопно-геохимические данные свидетельствуют об одновозрастности этих педокомплексов.

7. Сходство строения, минералогического и химического состава педокомплекса разреза Гребени с педокомплексом опорного разреза оврага Че-

ремушка позволяет проводить их прямую корреляцию и использовать их в качестве педостратиграфического маркера, или геосоли. В силу расположения описанных педокомплексов в пачке «малиновых глин» опорного разреза уржумского яруса, предлагается дать название этому маркирующему горизонту «педокомплекс малиновых глин».

8. Прослеживание данного педостратиграфического маркера в разрезах уржумского яруса Среднего Поволжья является задачей дальнейших исследований в контексте внутрирегиональной корреляции уржумских отложений.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета «Приоритет-2030».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2006. Вып. 36. 64 с.
2. Силантьев В.В., Серебренникова И.А. Стратотипы и опорные разрезы Казанского и уржумского ярусов в Приказанском районе. Местоположение и статус объектов // Геологические памятники природы Республики Татарстан / под ред. И.А. Ларочкиной. Казань: Акварель-Арт, 2007. С. 25–27.
3. Иноземцев С.А., Таргульян В.О. Верхнепермские палеопочвы: свойства, процессы, условия формирования. М.: ГЕОС, 2010. 188 с.
4. Retallack G.J. Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology. Oxford: Blackwell Sci., 2001. 600 p. <https://doi.org/10.1002/9780470698716>.
5. 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.
6. Иноземцев С.А., Наугольных С.В., Якименко Е.Ю. Верхнепермские палеопочвы на известняках: Морфология и генезис (среднее течение р. Волга) // Почвоведение. 2011. № 6. С. 660–674.
7. 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. <https://doi.org/10.1134/S0031030115110064>.
8. 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.
9. Mouraviev F., Arefiev M., Silantiev V., Balabanov Yu., Bulanov V., Bakaev A., Zharinova V. Stratotype of the Urzhumian Regional Stage in the Monastery Ravine, Kazan Volga Region, Russia // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources / ed. by M. Barclay, S. Nikolaeva, V. Silantiev. Bologna: Filodiritto Int. Proc., 2018. P. 188–196.
10. 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. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2019.05.004>.
11. 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. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/1.1/S01.049>.
 12. Silantiev V., Arefiev M., Mouraviev F., Bulanov V., Ivanov A., Urazaeva M., Bakaev A., Zharinova V. The parastratotype of the Urzhumian Stage in the Vyatka-Kazan region, East-European Platform // *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources* / Ed. by M. Barclay, S. Nikolaeva, V. Silantiev. Bologna: Filodiritto Int. Proc., 2018. P. 206–215.
 13. Арефьев М.П., Силантьев В.В. Седиментологические и геохимические критерии выделения цикличности в эталонном разрезе уржумского и северодвинского яруса «Монастырский овраг» (Казанское Поволжье) // *Виртуальные и реальные литологические модели: Материалы 10 Уральского литологического совещания «Виртуальные и реальные литологические модели»*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2014. С. 18–20.
 14. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V. Paleosols and pedostratigraphy of the Urzhumian (Middle Permian) deposits of the Kazan Volga region // *Abstract Volume of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2019 “Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources”*. Kazan, Kazan Fed. Univ. Press, 2019. P. 173–174.
 15. Retallack G.J. Field recognition of paleosols // Reinhardt J., Sigleo W.R. *Paleosols and Weathering Through Geologic Time: Principles and Applications*. Ser.: GSA Special Papers. 1988. V. 216, P. 1–21. <https://doi.org/10.1130/SPE216-p1>.
 16. Mack G.H., James W.C., Monger H.C. Classification of paleosols // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1993. V. 105, No 2. P. 129–136. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1993\)105<0129:COP>2.3.CO](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105<0129:COP>2.3.CO).
 17. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299, No 5885. P. 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>.
 18. 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. <https://doi.org/10.1086/342865>.
 19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.03.004>.
 20. Retallack G.J. Pedogenic carbonate proxies for amount and seasonality of precipitation in paleosols // *Geology*. 2005. V. 33, No 4. P. 333–336. <https://doi.org/10.1130/G21263.1>.
 21. Kraus M.J. Paleosols in clastic sedimentary rocks: Their geologic applications // *Earth-Sci. Rev.* 1999. V. 47, No 1–2. P. 41–70. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00026-4).
 22. Vepraskas M.J. Redoximorphic features for identifying aquic conditions // *Tech. Bull. Raleigh, NC: Agric. Res. Serv., N. C. State Univ.*, 1992. V. 301. P. 1–33.
 23. Наугольных С.В. Палеопочвы перми и раннего триаса // Семихатова М.А., Чумакова Н.М. *Климат в эпохи крупных биосферных перестроек*. М.: Наука, 2004. С. 221–229.
 24. Type and Reference Sections of the Middle and Upper Permian of the Volga and Kama River Regions. A Field Guidebook of XVIII International Congress on Carboniferous

- and Permian / Ed. by D.K. Nurgaliev, V.V. Silantiev, S.V. Nikolaeva. Kazan: Kazan Univ. Press, 2015. 208 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2619.1206>.
25. *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature*. North American Stratigraphic Code // AAPG Bull. 1983. V. 67, No 5. P. 841–875.
26. WG on definitions used in paleopedology // Paleopedology Glossary, 1997. URL: <http://fadr.msu.ru/inqua/nl-14/glossary.html/> (дата обращения: 30.04.2023).
27. *Constantini E.A.S.* Paleosols and pedostratigraphy // Appl. Soil Ecol. 2018. V. 123. P. 597–600. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.021>.
28. *Kabanov P.B., Alekseeva T.V., Alekseeva V.A., Alekseev A.O., Gubin S.V.* Paleosols in late Moscovian (carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing “great calcimagnesian plain” paleolandscapes // J. Sediment. Res. 2010. V. 80. P. 195–215. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.026>.
29. *Мирунов Р.В., Алексеева Т.В.* Палеопочвы в отложениях Каширского горизонта на юго-востоке Русской плиты (Республика Башкортостан): характеристика, палеоэкологическая и стратиграфическая значимость // *Литосфера*. 2022. № 22, вып. 5. С. 694–704. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-694-704>.
30. *Joeckel R.M.* Virgilian (Upper Pennsylvanian) paleosols in the Upper Lawrence Formation (Douglas Group) and in the Snyderville Shale Member (Oread Formation, Shawnee Group) of the Northern Midcontinent, USA: Pedologic contrasts in a cyclothem sequence // J. Sediment. Res. 1994. V. A64, No 4. P. 853–866. <https://doi.org/10.1306/d4267ee7-2b26-11d7-8648000102c1865d>.
31. *Retallack G.J.* Cambrian, Ordovician and Silurian pedostratigraphy and global events in Australia // Aust. J. Earth Sci. 2009. V. 56, No 4. P. 571–586. <https://doi.org/10.1080/08120090902806321>.

Поступила в редакцию 03.05.2023

Принята к публикации 26.09.2023

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

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 Института физики

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» Института геологии и нефтегазовых технологий

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 Института геологии и нефтегазовых технологий «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.2024.1.145-168

**Urzhumian Pedocomplexes of the Kazan Volga Region (Eastern Europe):
An Example of Paleoclimate and Paleolandscapes of the Subtropics
of the Continental Pangea in the Middle Permian***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 May 3, 2023; Accepted September 26, 2023

Abstract

The paleosol profiles of the Urzhumian from the section on the right bank of the Volga River near the village of Grebeni were studied by field and laboratory methods. Two paleosol profiles on red clayey siltstones were identified. They were classified as strongly developed Vertic Calcisols based on their pedogenic features such as horizonation, carbonate nodules, slickensides, etc. The climate during their formation was found to be seasonally wet and warm. The mean annual precipitation was calculated from the geochemical indices of the paleosols and amounted to 522 mm/year for the Late Urzhumian. The reddish-brown soils in the dry subtropics of the Mediterranean or Australia can be considered as modern analogs of these paleosols.

The upper paleosol profile is a pedocomplex consisting of four single soils separated by non-pedogenic carbonate layers in the middle part. The pedocomplex structure contains one lacustrine-palustrine and two lacustrine-playa sedimentary microrhythms, which indicate the setting of lacustrine-alluvial plains and make it possible to estimate the duration of its formation spanning thousands to tens of thousands of years.

A pedocomplex with a similar structure was identified in the upper part of the Urzhumian of the reference section in the Cheremushka Ravine. Both pedocomplexes have very similar mineralogical, chemical, and granulometric composition of their siliciclastics, as well as the isotopic composition of pedogenic nodules. The biostratigraphic position of the pedocomplex in the Cheremushka Ravine shows that it is coeval with the pedocomplex of the Grebeni section. The correlation between them is direct, making them a useful pedomstratigraphic marker. It is suggested to label this marker horizon as the “Crimson Clay pedocomplex”.

Keywords: paleosol, pedocomplex, Urzhumian, correlation, carbon and oxygen isotopes, geosol**Acknowledgments.** This study was supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program (PRIORITY-2030).**Conflicts of Interest.** The authors declare no conflicts of interest.**Figure Captions**

Fig. 1. Urzhumian deposits of the Grebeni section: *a*) geographical location of the section on the map of European Russia; *b*) satellite image with the outcrop series (marked by yellow); *c*) the lower part of the section, the bank outcrop near the village of Nariman; *d*) the upper part of the section in the excavation for the M12 highway construction near the village of Grebeni.

Fig. 2. The sequence of the Urzhumian deposits in the Grebeni generalized section with paleosol profiles (PP) and variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in sedimentary carbonates. Stratigraphic units were tentatively identified by correlation with the reference section of the Cheremushka Ravine [2]. Names of

the members, according to [2]: 1 – clayey-sandy, 2 – marly, 3 – clayey, 4 – dolomitic, 5 – sandy-clayey, 6 – clayey-marly, 7 – “quartz sandstone”, 8 – “green clays”, 9 – “Cheremushka”, 10 – “ribbon marls”, 11 – “crimson clays”, 12 – “tobacco sandstones”, 13 – “steep gullies”.

Fig. 3. The lower paleosol profile: *a*) general view with highlighted soil horizons, pick length 63 cm; *b*) vertical geochemical profile and histograms of the grain size composition. Grebeni section, Urzhumian. The sampling levels marked by yellow circles. Soil horizons, according to [4, 15]: B – subsurface illuvial or deposited horizon, K – subsurface massive carbonate horizon (calcrete), C – parent rock underlying the subsurface horizons, more weathered than fresh bedrock and non-pedogenic, D – unconsolidated bedrock underlying C or above soils, non-pedogenic. Numbers next to the soil horizons indicate the occurrence of soils in the vertical profile from top to bottom (K2 – the second soil layer, massive carbonate horizon). Features of the soil horizons, according to [4, 15]: Bk – soils with calcium carbonates, Bss – with slickensides (polished surfaces) on peds (soil blocks). Description of the soil horizons and interpretation of the geochemical indices and histograms of the grain size composition are given in the text.

Fig. 4. The upper paleosol profile: *a*) general view with highlighted soil horizons; *b*) vertical geochemical profile and histograms of the grain size composition. Grebeni section, Urzhumian. The sampling levels marked by yellow circles. Description of the soil horizons and interpretation of the geochemical indices and histograms of the grain size composition are given in the text. See Fig. 3 for the legend.

Fig. 5. Micromorphology of the paleosols: *a*) silty-clayey intraped mass with clusters of detrital quartz grains and limonitization around them, the lower paleosol profile; *b*) carbonate nodule with “floating” quartz grains in the micritic mass, the lower paleosol profile; *c*) soil microaggregates with visible orientation of clayey particles and sparse detrital grains, the upper paleosol profile; *d*) rhizoid limestone of K3 horizon, the fragments of ostracod and bivalve shells, the root voids with secondary calcite crystals, the upper paleosol profile.

Fig. 6. XRD spectra of the muddy fraction of the Bss horizon of the lower (*a*) and the upper (*b*) paleosol profiles. Abbreviations: Sm – smectite, I – illite, Gy – gypsum, Q – quartz, H – hematite. Samples saturated with ethylene glycol.

Fig. 7. Structure, sedimentary cycles, and correlation of the pedocomplexes of the Grebeni and Cheremushka Ravine (explanation in the text). See Fig. 3 for the legend.

Fig. 8. Correlation of the Grebeni section with the reference section of the Cheremushka Ravine based on sedimentological, paleontological, pedogenic, and isotopic-geochemical features. The upper isotopic-geochemical cycle containing pedocomplexes at the top is marked (explanation in the text). See Fig. 2 for the legend.

References

1. Resolution of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and Its Standing Commissions. St. Petersburg, VSEGEI, 2006, no. 36. 64 p. (In Russian)
2. Silantiev V.V., Serebrennikova I.A. Stratotypes and reference sections of the Kazanian and Urzhumian Stages in the Kazan region. Location and status of objects. In: Larochkina I.A. (Ed.) *Geologicheskie pamyatniki prirody Respubliki Tatarstan* [Geological Heritage of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Akvarel'-Art, 2007, pp. 25–27. (In Russian)
3. Inozemtsev S.A., Targulian V.O. *Verkhnepermские paleopochvy: svoistva protsessy, usloviya formirovaniya* [Upper Permian Paleosols: Properties, Processes and Formation Conditions]. Moscow, GEOS, 2010. 188 p. (In Russian)
4. Retallack G.J. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. Oxford, Blackwell Sci., 2001, 600 p. <https://doi.org/10.1002/9780470698716>.
5. 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)
6. Inozemtsev S.A., Naugolnykh S.V., Yakimenko E.Y. 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. <https://doi.org/10.1134/S1064229311060068>.
7. 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. <https://doi.org/10.1134/S0031030115110064>.
8. 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 Estestvennye Nauki*, 2016, vol. 158, no. 4, pp. 548–568. (In Russian)
 9. Mouraviev F., Arefiev M., Silantiev V., Balabanov Yu., Bulanov V., Bakaev A., Zharinova V. Stratotype of the Urzhumian Regional Stage in the Monastery Ravine, Kazan Volga Region, Russia. In: *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources*. Barclay M., Nikolaeva S., Silantiev V. (Eds.). Bologna, Filodiritto Int. Proc., 2018, pp. 188–196.
 10. 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. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2019.05.004>.
 11. 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. *Proc. Int. Multidiscip. Sci. GeoConf. Surv. Geol. Ecol. Manage., SGEM*, 2018, vol. 18, no. 1.1, pp. 387–394.
 12. Silantiev V., Arefiev M., Mouraviev F., Bulanov V., Ivanov A., Urazaeva M., Bakaev A., Zharinova V. The parastratotype of the Urzhumian Stage in the Vyatka-Kazan region, East-European Platform. In: Barclay M., Nikolaeva S., Silantiev V. (Eds.) *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources*. Bologna, Filodiritto Int. Proc., 2018, pp. 206–215.
 13. Arefiev M.P., Silantiev V.V. Sedimentological and geochemical criteria for the determination of cyclicity in the reference section of Urzhumian and Severodvinian Stages “Monastyrskii ravine” (Kazan Volga region). *Materialy 10 Ural'skogo litologicheskogo soveshaniya “Virtual'niye i real'niye litologicheskiye modeli”* [Proc. 10th Uralian Lithological Conf.: Virtual and Real Lithological Models]. Yekaterinburg, IGG Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2014, pp. 18–20. (In Russian)
 14. Mouraviev F.A., Arefiev M.P., Silantiev V.V. Paleosols and pedostratigraphy of the Urzhumian (Middle Permian) deposits of the Kazan Volga region. In: *Abstract Volume of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2019 “Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources”*. Kazan, Kazan Fed. Univ. Press, 2019, pp. 173–174.
 15. Retallack G.J. Field recognition of paleosols. In: Reinhardt J., Sigleo W.R. *Paleosols and Weathering Through Geologic Time: Principles and Applications*. Ser.: GSA Special Papers, 1988, vol. 216, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1130/SPE216-p1>.
 16. Mack G.H., James W.C., Monger H.C. Classification of paleosols. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1993, vol. 105, no. 2, pp. 129–136. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1993\)105<0129:COP>2.3.CO](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105<0129:COP>2.3.CO).
 17. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, no. 5885, pp. 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>.
 18. 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. <https://doi.org/10.1086/342865>.
 19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.03.004>.
 20. Retallack G.J. Pedogenic carbonate proxies for amount and seasonality of precipitation in paleosols. *Geology*, 2005, vol. 33, no. 4, pp. 333–336. <https://doi.org/10.1130/G21263.1>.
 21. Kraus M.J. Paleosols in clastic sedimentary rocks: Their geologic applications. *Earth-Sci. Rev.*, 1999, vol. 47, nos. 1–2, pp. 41–70. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00026-4).
 22. Vepraskas M.J. Redoximorphic features for identifying aquic conditions. *Tech. Bull.* Raleigh, NC, Agric. Res. Serv., N. C. State Univ., 1992, vol. 301, pp. 1–33.
 23. Naugolnykh S.V. Paleosols of the Permian and Early Triassic. In: Semikhatova M.A., Chumakova N.M. *Klimat v epokhi krupnykh biosfernykh perestroek* [Climate in the Epochs of Major Biospheric Transformations]. Moscow, Nauka, 2004, pp. 221–229. (In Russian)

24. 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 International Congress on Carboniferous and Permian*. Kazan, Kazan Univ. Press, 2015. 208 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2619.1206>.
25. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. North American Stratigraphic Code. *AAPG Bull.*, 1983, vol. 67, no. 5, pp. 841–875.
26. WG on definitions used in paleopedology. In: *Paleopedology Glossary*, 1997. URL: <http://fadr.msu.ru/inqua/nl-14/glossary.html>.
27. Constantini E.A.S. Paleosols and pedostratigraphy. *Appl. Soil Ecol.*, 2018, vol. 123, pp. 597–600. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.021>.
28. Kabanov P.B., Alekseeva T.V., Alekseeva V.A., Alekseev A.O., Gubin S.V. Paleosols in late Moscovian (Carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing “great calcimagnesian plain” paleolandscapes. *J. Sediment. Res.*, 2010, vol. 80, pp. 195–215. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.026>.
29. Mirnov R.V., Alekseeva T.V. Paleosols in the Kashira deposits in the south of the East European Craton (Republic of Bashkortostan): Characteristics, paleoecological and stratigraphic significance. *Litosfera*, 2022, vol. 22, no. 5, pp. 694–704. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-694-704>. (In Russian)
30. Joeckel R.M. Virgilian (Upper Pennsylvanian) paleosols in the Upper Lawrence Formation (Douglas Group) and in the Snyderville Shale Member (Oread Formation, Shawnee Group) of the Northern Midcontinent, USA: Pedologic contrasts in a cyclothem sequence. *J. Sediment. Res.*, 1994, vol. A64, no. 4, pp. 853–866. <https://doi.org/10.1306/d4267ee7-2b26-11d7-8648000102c1865d>.
31. Retallack G.J. Cambrian, Ordovician and Silurian pedostratigraphy and global events in Australia. *Aust. J. Earth Sci.*, 2009, vol. 56, no. 4, pp. 571–586. <https://doi.org/10.1080/08120090902806321>.

Для цитирования: Муравьев Ф.А., Кропотова Т.В., Гареев Б.И., Баталин Г.А. Педокомплексы уржумских отложений Казанского Поволжья (Восточная Европа): пример палеоклимата и палеоландшафтов субтропиков континентальной Пангеи в средней перми // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2024. Т. 166, кн. 1. С. 145–168. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.1.145-168>.

For citation: Mouraviev F.A., Kropotova T.V., Gareev B.I., Batalin G.A. Urzhumian pedocomplexes of the Kazan Volga region (Eastern Europe): An example of paleoclimate and paleolandscapes of the subtropics of the continental Pangea in the Middle Permian. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2024, vol. 166, no. 1, pp. 145–168. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.1.145-168>. (In Russian)