

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В РАННЕМ ПЛИОЦЕНЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЁССОВО-ПОЧВЕННОГО РАЗРЕЗА АЛЬМА–ПЕСЧАНОЕ (ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ)

© 2024 г. М. В. Хмелева^{a, b, *} (ORCID: 000-0003-0447-8549), П. Г. Панин^a, П. Д. Фролов^c,
А. С. Тесаков^c, А. В. Бухонов^d

^aИнститут географии РАН, Старомонетный пер., 29, Москва, 119017 Россия

^bИФХиБПП РАН, Институтская ул., 2, Пущино, Московская область 142290 Россия

^cГеологический институт РАН, Пыжевский пер., 7 стр. 1, Москва, 119017 Россия

^dФНЦГ им. Ф.Ф. Эрсмана Роспотребнадзора, Семашко, 2, Мытищи, 141014 Россия

*e-mail: khmeleva@igras.ru

Поступила в редакцию 16.06.2023 г.

После доработки 26.08.2023 г.

Принята к публикации 28.08.2023 г.

Рассмотрена лёссово-почвенная серия разреза Альма–Песчаное, расположенная на западе Крымского полуострова. Подробный анализ морфологических, физико-химических и ряда других признаков позволил выделить восемь палеопочв, развитие которых происходило в отличных друг от друга условиях. Предположительный возраст лёссово-почвенной серии был установлен на основе палеофаунистического анализа по находке зуба мыши *Micromys cf. bendae*. Согласно полученным данным, на начальном этапе формирования палеопочв шло ритмично в сухих умеренно-теплых условиях. Палеопочвы развивались по степному типу почвообразования (каштановые почвы, Kastanozems). Позднее климат изменяется в сторону увеличения температуры и влажности, формируются две красно-бурые полигенетичные палеопочвы. Их формирование происходило поэтапно в условиях от аридного до жаркого влажного субтропического климата, на оптимальных стадиях развития почвы формировались по типу ферсалиитных (Nitisols). На конечных стадиях развития палеопочвы подвергались резким сменам режимов увлажнения–иссушения. Красноцветные палеопочвы изученного разреза предположительно могут относиться к Севастопольскому стратиграфическому горизонту. Проведенные исследования позволили охарактеризовать ландшафтно-климатические условия и сформировать представление о генезисе почвенного покрова в раннем плиоцене.

Ключевые слова: палеопочва, морфология почв, изменение климата, занклий, Восточно-Европейская равнина

DOI: 10.31857/S0032180X24010044, EDN: ZLSDUF

ВВЕДЕНИЕ

Лёссово-почвенные серии (ЛПС) повсеместно рассматриваются как наиболее полный субаэральный архив климатических изменений в прошлом [8]. Они представлены переслаиванием лёссов и палеопочв, что свидетельствует о смене ландшафтно-климатической обстановки [57, 59, 62]. Морфологические признаки и свойства палеопочв отражают региональные и локальные особенности условий формирования почвенного покрова, что имеет большое значение для экологических реконструкций в плио-плейстоценовый период. Современные знания о климате и эволюции почвообразования в плиоцене остаются очень неполными, в то время

как период плиоцена обычно рассматривают в качестве примера состояния, к которому может приблизиться глобальная климатическая система в будущем [40, 49]. Исследования лёссово-почвенных серий с красноцветными палеопочвами, как палеоклиматического и палеопедологического архива изменения природной среды в плио-плейстоцене, позволят расширить существующие знания об эволюции педосферы в истории Земли и спрогнозировать будущие изменения климата.

Разновозрастные красноцветные палеопочвы активно изучаются в лёссовых покровах Венгрии, Китая, Аляски, Турции, Южной Америки, России [1, 16, 44, 60, 65, 69]. На территории полуострова

Крым, особенно в западной его части сохранились мощные лёссово-почвенные серии с красноцветными и бурыми палеопочвами, которые являются перспективными объектами для исследования палеопочвенного покрова дочетвертичного времени. Представление о морфологии и стратиграфии палеопочв Крыма отображено во многих работах, начиная с середины XX в. [5–7, 13, 20, 21, 31, 32, 53, 58]. В результате комплексных геологических съемок 40–80-х гг., проводимых М.Ф. Векличем с коллегами, была составлена стратиграфическая схема субэаральных отложений, выделено 34 горизонта континентальных лёссово-почвенных отложений плио-плейстоценового интервала [5–7]. Каждый горизонт сложен свитой палеопочв, которые характеризуют несколько климатических стадий: начальную, оптимум и заключительную. Характеристики растительного покрова по палинологическим данным и морфологические особенности палеопочв позволили реконструировать ландшафтно-климатическую обстановку в плио-плейстоцене [6, 20, 31, 32]. Толщи субэаральных отложений с красноцветными палеопочвами предположительно относят к континентальной Таврской свите плиоцена [21, 33]. Стратотипом многих горизонтов первой половины плиоцена послужила осадочная последовательность разреза Любимовка в Западном Крыму. Ревизия геологических данных позволила авторам установить “раннепонтический возраст отложений от Иванковского до Яркового горизонтов схемы М.Ф. Веклича в разрезе Любимовка” и сделать вывод, что “эти горизонты не характеризуют континентальный плиоцен (...), а относятся к миоцену” [25, с. 106]. На современном этапе исследования, для детальной реконструкции палеопочвенного покрова и условий формирования палеопочв, используя предыдущие исследования, необходимо продолжить коррелировать и уточнять палеопочвенные уровни в лёссово-почвенных сериях.

Цель работы – на более детальном уровне установить особенности строения палеопочв в лёссово-почвенном разрезе Альма–Песчаное, который ранее не был исследован. Применяя комплексный подход к изучению палеопочв [53, 57–59] реконструировать типы палеопочв в районе исследования, и на основе их современных почвенных аналогов установить ландшафтно-климатические условия в раннем плиоцене.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Лёссово-почвенный разрез Альма–Песчаное расположен на левом берегу р. Альма к востоку от с. Песчаное (44°50.41' N, 33°36.82' E, 50 м над ур. м.) (рис. 1а, 1б), общая мощность разреза составляет 57 м (рис. 1с). В настоящей работе представлены результаты только по нижней расчистке общего

разреза (рис. 1д, рис. 2). Названия палеопочв PS21-AP (PS – paleosol, 21 – номер палеопочвы в общем разрезе, AP – Alma–Peschanoe) и их нумерация дана сверху вниз по всему разрезу Альма–Песчаное, где вскрыто более 20 палеопочвенных уровней.

Район исследования по Кеппену–Гейгеру относится к области Bsk холодного полусухого климата [38]. Средняя температура воздуха в июле составляет 22.5°C, в январе 3°C. Среднегодовое количество осадков 420–470 мм. Климат исследуемой территории характеризуется как степной умеренно-континентальный. Особенности циркуляции атмосферы и совместное влияние Крымских гор и Черного моря обуславливают быстрое весеннее снеготаяние в горах, интенсивные ливневые дожди нередко вызывают паводки [2, 12, 18, 26]. Современный почвенный покров в районе исследования представлен предгорными черноземами, черноземами южными карбонатными, коричневыми типичными и коричневыми карбонатными почвами [12, 17, 26].

Морфологическое описание ЛПС проведено по [28], названия горизонтов палеопочв даны по ФАО [42]. Названия палеопочв даны в соответствии с классификацией IUSS Working Group WRB [50]. Цвет определяли на свежей зачищенной стенке разреза по цветовой системе Манселла [56]. Образцы на физико-химические показатели отбирали в каждом слое, их общее количество составило 35 шт. Каждые 4 см вдоль стенки разреза каплетром ПИМВ измеряли магнитную восприимчивость (МВ). В палеопочвенных горизонтах на морфоскопию песчаных кварцевых зерен было отобрано 11 проб, вес пробы для промывки составлял более 5 кг. Из песчано-гравийно-галечникового слоя 2 взят образец на фаунистический анализ.

Гранулометрический состав анализировали на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000 с диспергатором Hydro EV [39]. Программное обеспечение Mastersizer v.3.62 позволяло рассчитать статистические параметры размеров зерен. Описание почвенных гранулометрических характеристик соответствует системе ФАО (2000-63-20-2 мкм) [43]. Потери при прокаливании (ППП) исследовали при температурах 550 и 950°C [45], содержание органического углерода – мокрым сжиганием [3, 67]. Измерение pH проводили на pH-тестере HI 98127 в водной вытяжке 1 : 2.5 [3]. Цвет воздушно-сухих образцов определяли с помощью портативного колориметра CS-10. Насыпные образцы предварительно высушивали при 20°C до воздушно-сухого состояния, а затем растирали в ступке до однородной массы. Цвет каждой пробы измеряли 3 раза. Полученные таким образом данные выражены в координатах L^* , a^* и b^* цветового пространства CIE-LAB.

Для уточнения процессов привноса и трансформации песчаного материала применяли метод

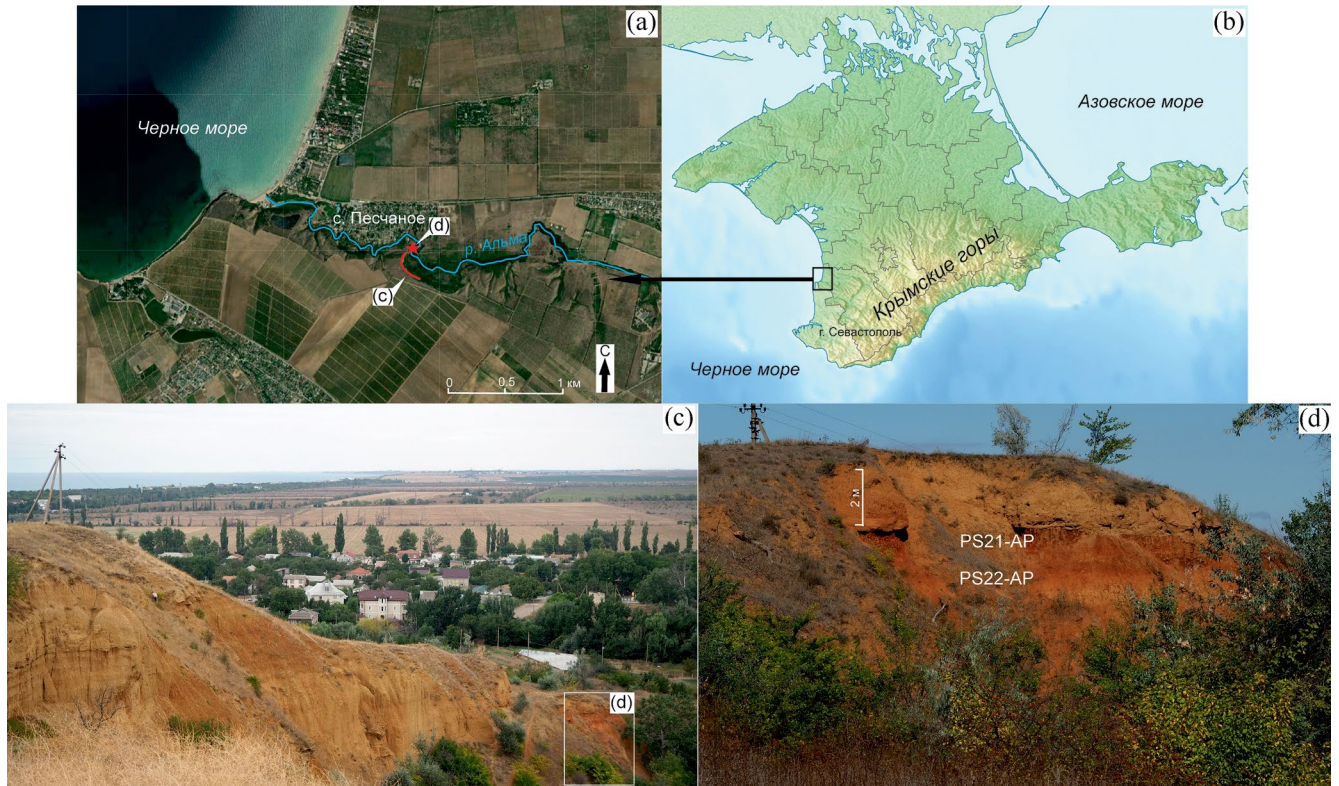


Рис. 1. а, б – Географическое положение разреза Альма–Песчаное; с – Общий разрез Альма–Песчаное; д – Нижняя расчистка ЛПС разреза Альма–Песчаное.

морфоскопии кварцевых зерен [51, 52, 64, 66]. Зерна кварца диаметром 0.5–1 мм выделяли мокрым просеиванием и обрабатывали 10%-ной HCl, для разрушения микроагрегатов и удаления карбонатных пленок. Отобранные 50 зерен кварца из каждой пробы исследовали под стереомикроскопом при увеличении $\times 40 \dots \times 50$. При анализе фиксировали степень округлости по визуальной шкале Хабакова [36], где 0 – неокатанные, а IV – абсолютно окатанные зерна, с использованием трафарета Рухина [29]. Учитывали особенности рельефа, специфические признаки и типы поверхности зерен кварца: глянецовые и с признаками матовости. Рассчитывали коэффициент окатанности (Q , %) и степень матовости (Sm , %). Традиционно матовость зерен считается признаком эолового переноса [64, 66], однако специфические признаки выветрелости матовых зерен: мелкие V-ямки, химическое травление, осаждение кремнезема и глубокие депрессии на их поверхности – свидетельствуют о признаках активного внутрипочвенного выветривания материала после отложения. Такие признаки матовости рассматривали, в том числе как диагенетическое преобразование [51, 52].

Для палеофаунистического анализа пробу объемом около 2 л промыли с помощью ручного сита с размером ячеек 0.7 мм. Высушенную навеску

разделили на фракции размером 0.7–1, 1–2, 2–3, >3 мм. После чего вручную выбирали палеонтологические остатки. Весь полученный материал хранится в Геологическом институте РАН, коллекция ГИН 1184. Фотографии сделаны при помощи СЭМ Tescan Vega3 (Палеонтологический институт РАН) и бинокулярного микроскопа с цифровой камерой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвообразование в раннем плиоцене. В исследуемой нижней расчистке разреза Альма–Песчаное выделено восемь палеопочвенных профилей, два из которых красноцветные, другие палево-бурые.

Верхний слой 1 в ЛПС нижней расчистки разреза Альма–Песчаное мощностью 150 см, представлен опесчаненным легким суглинком палевого цвета (7.5YR 6/8–7/8). Видны включения линз, заполненных песком, которые в основном сконцентрированы в нижней части слоя. Слой 2 (150–210/60 см) палевого цвета (7.5YR 6/6, 7.5YR 6/8), представлен песчано-гравийно-галечным материалом, слоистый. Этот слой покрывает палеопочву PS21-AP и прослеживается вдоль всего разреза. По данным морфоскопии кварцевых зерен в слое 2 песчаные кварцевые зерна распределены по классам окатанности равномерно (рис. 3).

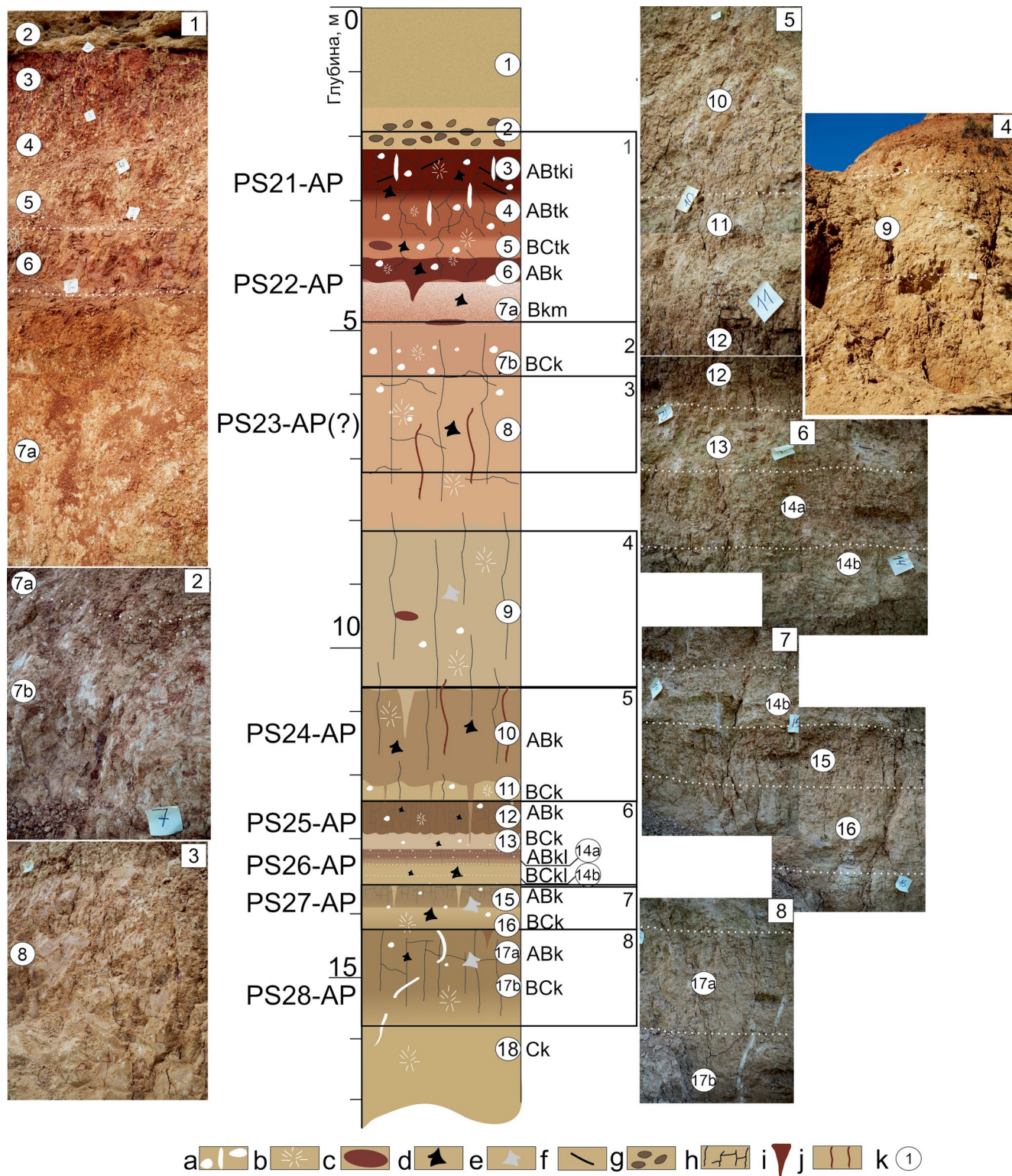


Рис. 2. Профиль исследуемого разреза Альма–Песчаное и палеопочвенные уровни. Условные обозначения, здесь и на рис. 3, 4: а – карбонатные конкреции разной формы, b – карбонатный псевдомицелий, с – кротовины; d – новообразования Fe–Mn, e – признаки оглеения, f – сликенсайды, g – песчано-гравийно-галечниковый слой, h – трещины иссушения, i – затек, j – корнеход с красным заполнением, k – номер слоя.

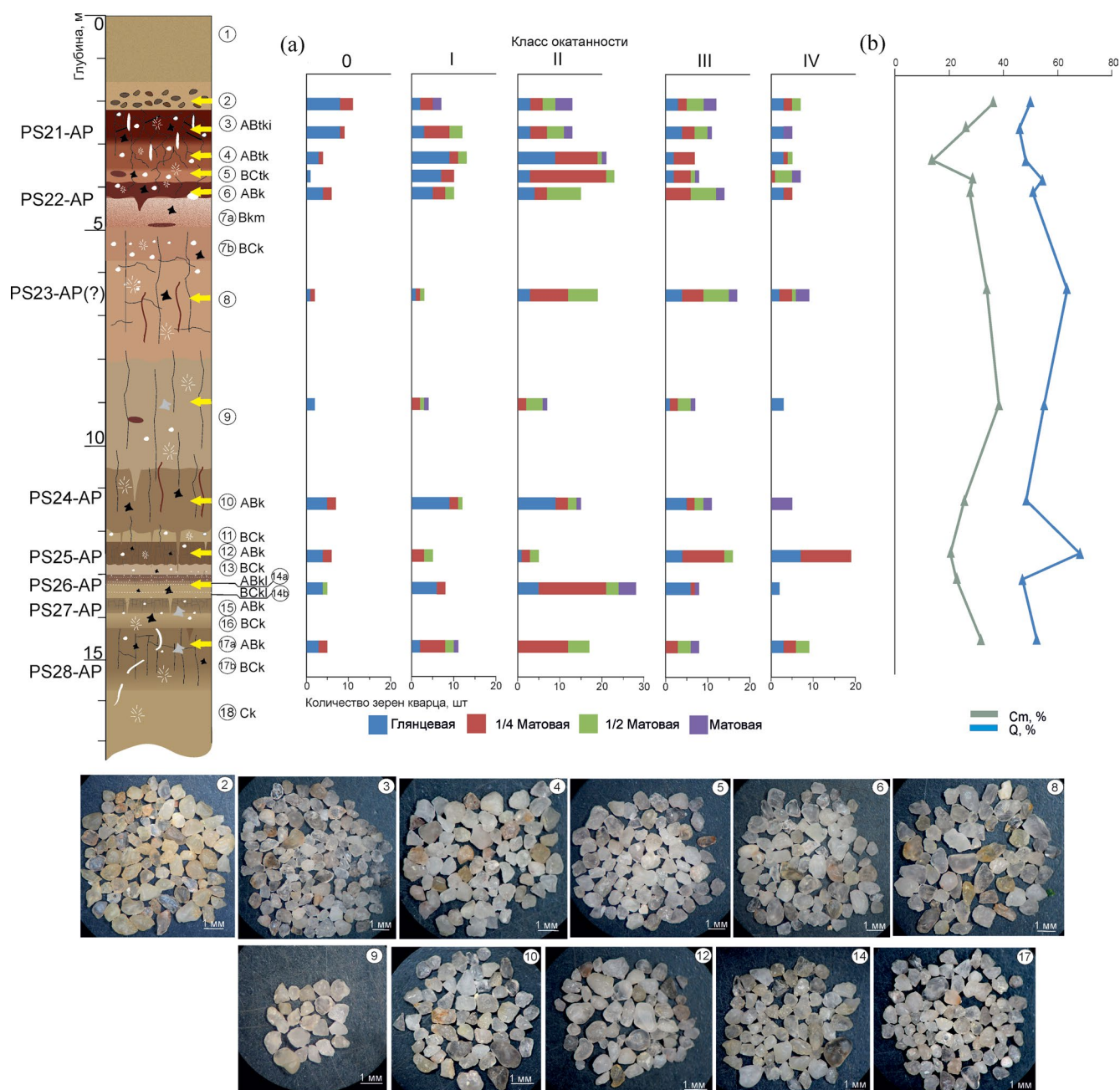


Рис. 3. Морфоскопия песчаных кварцевых зерен: а – гистограммы окатанности и типы поверхности кварцевых зерен; 0, I, II, III, IV – классы окатанности; б – графики распределения значений коэффициента окатанности Q и степени матовости St ; желтая стрелка – уровень отбора проб. Фото: выборка кварцевых зерен, проанализировано 50 шт.

Регистрируются зерна со всеми типами поверхностей, преобладают глянцевые в I классе и зерна с признаками матовости во II и III классах. Поверхность зерен гладкая, местами ямчатая с хаотичными и параллельными бороздками, V-ямками и серповидными углублениями. На большинстве зерен регистрируются различные типы бороздок. Генезис преобразования кварцевых зерен этого

слоя связан с высокоэффективными водными потоками, которые переносят материал на небольшие расстояния [52, 64]. Похожие отложения распространены на территории Альминской впадины. Их образование связано с деятельностью флювиальных процессов [23].

Палеопочва PS21-AP состоит из трех горизонтов ABtki (слой 3), ABtk (слой 4) и BCtk (слой 5).

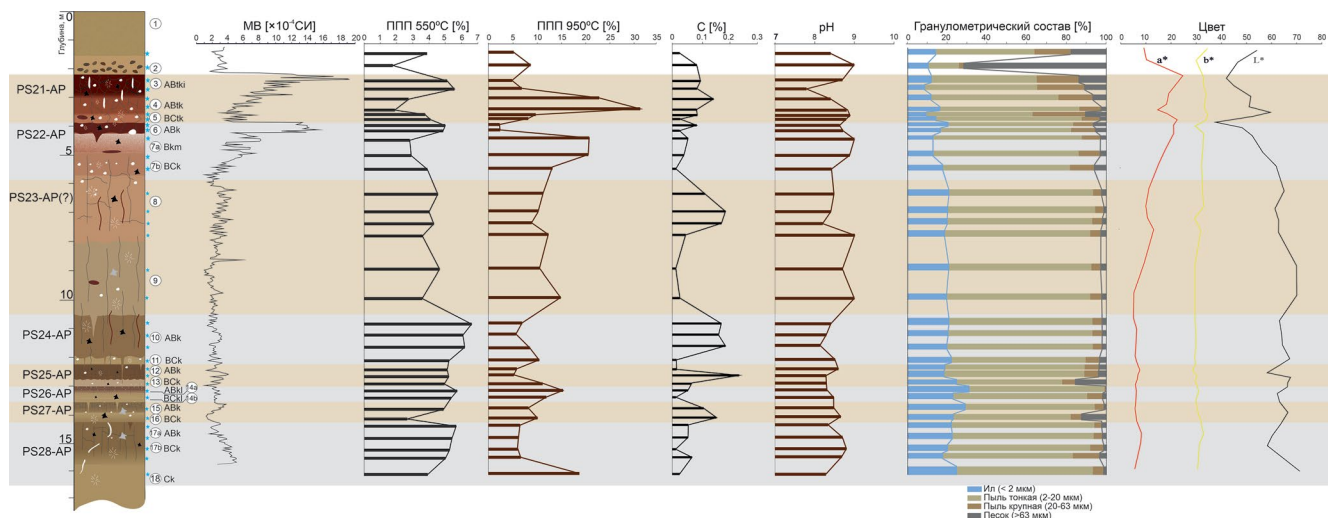


Рис. 4. Лёссово-почвенные серии разреза Альма–Песчаное, результаты физико-химических анализов: голубая звездочка – уровень отбора проб.

Горизонт АВtki (210–274/64 см) красновато-бурого цвета (10R 3/6–2.5YR 3/6), столбчатой структуры, пронизан вертикальными и горизонтальными трещинами. Горизонт представлен тяжелым суглинком, местами опесчанен, с глинистыми и темно-серыми Fe–Mn-кутанами. По граням структурных отдельностей сликенсайды. Слой пропитан карбонатным материалом, бурно вскипает, обильные карбонатные конкреции диаметром до 5 см, имеют округлую форму. Есть продолговатые вертикально ориентированные карбонатные конкреции, возможно, связанные с древними корнеходами (ризолиты). Горизонт АВtk (274–338/64 см) красновато-бурый (10R 4/6, 5YR 6/8), светлее предыдущего, по своему строению идентичен вышележащему слою 3. Горизонт ВСtk (338–378/40 см) красновато-палевый (5YR 6/8) тяжелый суглинок, обильны карбонатные конкреции диаметром до 2 см. Видны включения редкой, мелкой гальки. Обильны Fe–Mn-новообразования в виде тонких темно-серых пленок, есть мелкие поры. В этом горизонте видна кротовина диаметром 7 см, заполненная материалом из вышележащих слоев 3 и 4.

Преобладание красного цвета в профиле палеопочвы PS21-AP указывает на участие в почвообразовании ферриаллитных процессов [15, 27, 28]. Наиболее интенсивно процессы почвообразования протекали в горизонте АВtki (слой 3), где МВ максимальна (19.16×10^{-4} СИ), ниже ее значения постепенно уменьшаются. Большая концентрация карбонатных новообразований в горизонтах АВtk (слой 4) и ВСtk (слой 5), свидетельствует о высокой степени аридизации климата [70]. В то же время наличие кутан иллювирувания и Fe–Mn-новообразований по всему профилю палеопочвы указывает на достаточно гумидный климат. Высокие

значения ППП 950°C (22–31%) и pH (8.7) в горизонте АВtk (слой 4) подтверждают процессы выщелачивания карбонатного материала в нижележащие слои. Профиль палеопочвы PS21-AP полигенетичный, предположительно, первоначально преобладали процессы степного почвообразования, в эту стадию формировались карбонатные новообразования. Позднее климат становится более влажным, в гранулометрическом составе увеличивается количество илистой фракции, формируются глинистые кутаны, которые морфологически прослеживаются по граням педов. С дальнейшим увеличением количества осадков проработка материала становится более активной, Fe–Mn-новообразования равномерно распределяются по всему профилю палеопочвы PS21-AP, появляется характерный красноватый оттенок, что отражается на графиках a^* и b^* (рис. 4). Наличие крупных выветрелых ризолитов, которые сохранились в гумусированных горизонтах палеопочвы, свидетельствует о смене степной растительности на лесные ценозы [69]. Профиль палеопочвы PS21-AP сильно опесчанен (до 13% в слое 3), содержание песка снижается с глубиной. По данным морфоскопии кварцевых зерен, в слое 3 распределение фактически идентично слою 2, что свидетельствует о вероятном привносе материала из этого слоя. Возрастает содержания зерен II и III класса в 4 и 5 слоях со специфическими эродированными матовыми поверхностями, что указывает на активное внутрисочвенное выветривание.

Таким образом, профиль палеопочвы PS21-AP формировался продолжительное время, за этот период он претерпел серию климатических изменений. Первоначально палеопочва развивалась в условиях аридного климата, возможно по типу современных почв Calcisols. Далее, климат

менялся, увеличивалось количество осадков, степная растительность сменилась на лесостепную, профиль становится красноцветным. В настоящее время современные красноцветные почвы типичны для влажных и сухих тропических и субтропических регионов [10, 62, 63]. Близкими к изученным красноцветным почвам Крыма являются Nitisols влажных субтропиков Западной Грузии [9, 27, 63], Chromic Cambisol Средиземноморья [44, 55] и Petric Calcisol на Юго-востоке Турции, возникшие на плиоценовых красноцветных отложениях [37]. Учитывая особенности полигенетического строения палеопочвы PS21-AP, наличие угловато-блоковых структур с блестящими во влажном состоянии глинистыми кутанами на их гранях, ее можно отнести к Ferralic Nitisols. На конечной стадии формирования искомой палеопочвы климат становится более аридным, появляются крупные трещины, образованные в результате чередований увлажнения и иссушения почвенного профиля. Вероятно, палеопочва PS21-AP перед погребением песчано-галечниковым слоем (слой 2) приобретала признаки формирования слитых почв Vertisols.

В профиле палеопочвы PS22-AP гумусовый горизонт ABk (слой 6) (378–22/44 см) красновато-бурого цвета (10R 4/8) имеет столбчато-глыбистую структуру, образованную за счет вертикальных трещин. Поверхность этих трещин покрывают глинистые кутаны. В слое обильны Fe–Mn-примазки, есть включения рыхлых карбонатных конкреций диаметром до 3 см. Горизонт Bkm (слой 7a) (422–482/60 см) палевого цвета с красноватым оттенком (5YR 6/8), слой цементирован, состоит полностью из карбонатных конкреций, пропитанных глинистым материалом. В нем встречаются редкие Fe–Mn-прожилки. На границе перехода к горизонту BCk (слой 7b) выявлена слабо выраженная субгоризонтально-ориентированная кротовина, заполненная красноватым материалом схожим по цвету со слоем 6. Горизонт Bkm (слой 7a) напоминает по строению слой 18 разреза Береговое-2/16, где по данным авторов [14, 58] накопление карбонатов было связано с поднятием грунтовых вод. Горизонт BCk (слой 7b) (482–570/88 см) палевый с красноватым оттенком, количество карбонатных конкреции в нем сокращается. Слой трещиноват, есть Fe–Mn-кутаны по порам.

Высокая MB в горизонте ABk (слой 6), как и в вышележащей палеопочве PS21-AP, связана с интенсивным почвообразованием, но распределение значений MB имеет резкие пики в верхней и нижней границах слоя. В верхней части показатели MB достигают 13×10^{-4} СИ, увеличиваясь в середине горизонта до 15.32×10^{-4} СИ, на границе 6 и 7a слоев значения уменьшаются до 4×10^{-4} СИ. Резкий переход MB в верхней части слоя 6 может быть связан с прерыванием профиля палеопочвы PS22-AP, вызванного эрозией ее поверхностных

горизонтов. Из-за цементированного горизонта Bkm (слой 7a) основные процессы почвообразования протекали непосредственно над этим слоем, в результате чего отсутствует плавное распределение значений MB. Высокие показатели ППП 550°C (до 5%) и содержания илистой фракции (21%) в горизонте ABk (слой 6), а также увеличенное содержание органического материала (0.1%) по сравнению с нижележащими горизонтами подтверждают предположение о том, что основной профиль палеопочвы PS22-AP формировался на цементированном горизонте Bkm (слой 7a). Таким образом, палеопочву PS22-AP можно сопоставить с современными красными рендзинами (Rendzic Leptosols), которые формируются на плотных карбонатных породах в Ливии [30, 35]. В то же время наличие кротовины в горизонте BCk (слой 7b), заполненной красным материалом из горизонта ABk (слой 6), свидетельствует, что ранее горизонт Bkm (слой 7a) не был цементирован, и его генезис связан с почвообразованием палеопочвы PS22-AP. Возможно, из-за смены климата и последующего изменения уровня грунтовых вод и/или количества осадков [14, 34, 58] происходила миграция карбонатного материала и аккумуляция его в горизонте Bkm (слой 7a). Скорее всего, первоначально палеопочва PS22-AP развивалась как Calcisols, для которых характерен засушливый климат. Далее условия почвообразования резко меняются, и в профиле палеопочвы начинают преобладать красные тона вследствие ферриалитизации. Из-за смены водного режима и образования карбонатного горизонта Bkm (слой 7a) палеопочва PS22-AP развивается как Rendzic Leptosols, которая постепенно переходит в палеопочву, по строению схожую с современным Nitisols [10, 41, 63].

Слой 8 относится к красноцветной палеопочве, поверхностные горизонты которой в период формирования ЛПС разреза Альма–Песчаное были эродированы. В настоящее время слой состоит из одного горизонта (570–810/240 см), пропитанного красным материалом (7.5YR 6/8, 10R 3/6). Здесь прослеживаются древние корнеходы, заполненные также красным материалом, не относящимся к вышележащим палеопочвам. Высокие значения MB (4×10^{-4} СИ), содержания органического углерода (0.19%) и ППП 550°C по сравнению с со слоем 7b PS22-AP подтверждают предположение о наличии почвообразования в слое 8. По данным морфоскопии кварцевых зерен преобладают зерна II и III классов с признаками матовости. Зерна имеют гладко-ямчатые поверхности с фрагментами красноватого материала, что свидетельствует о высокой интенсивности внутрипочвенного диagenеза [64]. Слой 9 (810–1066/256 см) слабо затронут процессами почвообразования, что подтверждается низкими значениями MB (3×10^{-4} СИ), преобладанием палевого цвета (2.5 Y 8/4), слабой дифференциацией

по значениям ППП и илистой фракции. В слое присутствуют редкие кротовины и древние корнеходы, заполненные красным материалом. Его формирование происходило в продолжительных засушливых условиях. Песчаные кварцевые зерна из слоя 9 единичны, характеризуются различными типами поверхностей. Вероятно, песчаная фракция в небольшом количестве привносилась из близкорасположенного источника, а в формировании толщи, в основном, преобладали процессы эолового привноса материала [53, 66].

В палеопочве PS24-AP горизонт АВк (слой 10) (1066–1206/140 см) буровато-палевый (7.5YR 5/8) с темно-бурыми пятнами. Характеризуется столбчато-глыбистой структурой, в слое глинистые кутаны и карбонатный псевдомицелий. Палеотрещины и поры заполнены красновато-бурым материалом. Горизонт ВСк (слой 11) (1206–1238/32 см) палевый со слабым бурым оттенком (10YR 7/6), трещиноватый. Карбонатные конкреции диаметром до 5 мм равномерно распределены по горизонту. Палеокорнеходы заполнены красным материалом. По граням структурных отделеностей палеопочвы Fe–Mn-примазки и кутаны.

По сравнению с горизонтом Ск (слой 9) палеопочва PS24-AP более гумусированная: повышается количество органического углерода (0.16–0.19%) и значения ППП 550°C (до 16%). В горизонте АВк интенсивно протекали процессы почвообразования: характерная буроватая окраска, связанная с органическим веществом и оструктуренность слоя дают основание считать этот горизонт поверхностным. Палеопочва развивалась по степному типу, что подтверждается морфологически окарбоначенностью профиля и ППП 950°C от 7 в горизонте АВк до 8% в ВСк [70]. Илистая фракция распределена равномерно, присутствует небольшой пик ее содержания в горизонте ВСк, что может быть связано с неоднородностью почвообразующей породы. Глинистые кутаны и пятна оглеения на поверхностях микроагрегатов могут свидетельствовать о предыдущей, более влажной, стадии формирования палеопочвы. На завершающей стадии развитие палеопочвы PS24-AP происходило в аридном климате, с редким поступлением влаги. Почвообразование в дальнейшем сопровождалось иссушением, о чем свидетельствуют трещины иссушения и карбонатные конкреции, которые концентрируются в горизонте ВСк. Кварцевые зерна из горизонта АВк (слой 10) несут наибольшее из всего разреза количество признаков внутрипочвенного преобразования: гладко-ямчатые поверхности с мелкими V-ямками, различными бороздками и депрессиями – эрозионными формами, что указывает на активное физико-химическое преобразование материала всех классов зерен. Результаты морфоскопии схожи со слоем 4, однако зерна кварца менее выветрены. Современным аналогом

может быть каштановая почва, *Kastanozems*. Палеопочва PS24-AP на заключительной стадии формирования функционировала под влиянием усилившейся аридизации, которая в дальнейшем повлекла образование слоя 9.

Палеопочва PS25-AP представлена двумя горизонтами. Поверхностный АВк (слой 12) (1238–1290/52 см) буровато-палевый (7.5YR 6/8), неоднородный по окраске, трещиноватый, имеет столбчатую структуру. Горизонт пористый, поры заполнены Fe–Mn-примазками. Карбонатный псевдомицелий концентрируется по граням структуры, конкреции редкие. Горизонт ВСк (слой 13) (1290–1310/20 см) палевый с буроватым оттенком (7.5YR 6/8, 7/8). Карбонатные конкреции сконцентрированы в нижней части слоя. Палеопочва с тонкими красноватыми палеокорнеходами.

В палеопочве PS25-AP значения МВ (до 4×10^{-4} СИ), содержание органического углерода (0.24%) и ППП 550°C (5%) указывают, что почвообразование было более интенсивным, чем в PS24-AP. Опесчаненность горизонта ВСк (слой 13) свидетельствует, что материал этого горизонта был, вероятно, нанесен с латеральными водными потоками, и впоследствии на нем формировался гумусовый горизонт. Первоначально палеопочва PS25-AP формировалась при достаточно высоком увлажнении, возможно, в понижении рельефа. Общая окарбоначенность и трещины иссушения свидетельствуют о последующей аридной стадии формирования профиля. Максимальное количество зерен в III и IV классе окатанности (коэффициент окатанности Q максимален в ЛПС) с редкими признаками ямчатости и бороздками указывает, что данные зерна генетически связаны с водными процессами, следы последующего выветривания выражены на небольших участках кварцевых зерен во всех классах. На заключительной стадии палеопочва PS25-AP могла формироваться по типу каштановых почв *Kastanozems*. Учитывая столбчатую структуру верхнего горизонта и повышение содержания илистой фракции в горизонте ВСк, почва проходила стадию осолонцевания. Похожие современные каштановые почвы на опесчаненных суглинках развиваются в Прикаспийской низменности, Ергенинской возвышенности, сухих степях Азии [10, 24, 30].

Следующая палеопочва PS26-AP состоит из горизонтов АВк1 (слой 14а) и ВСк1 (слой 14б). Характеризуется сочетанием слоев суглинистого материала и карбонатных конкреций, структура палеопочвы глыбистая. Горизонт АВк1 (1310–1350/40 см) палево-бурый (7.5YR 5/6–6/6), ВСк1 (1350–1366/16 см) буровато-палевый (2.5YR 8/4, 8/6). Встречаются Fe–Mn-примазки по всей палеопочве.

Первоначальный генезис PS26-AP, вероятно, связан с функционированием красноцветной

палеопочвы: морфологически в профиле выделяются красноватые пятна. Возможно, впоследствии красная почва была эродирована экзогенными процессами, микроморфологически выражены признаки педотурбации. Режим почвообразования изменился, и профиль PS26-AP стал развиваться в других, более влажных и менее жарких условиях, о чем свидетельствует морфологически выраженная буроватость, слабое оглеение материала и Fe–Mn-примазки. Карбонаты в профиле были сформированы благодаря выпотному режиму, вероятно, на последних стадиях почвообразования. С какими почвенными процессами связано слоистое залегание карбонатов сказать сложно. Почвообразование было прервано привнесением опесчаненного материала слоя I3: регистрируется резкое уменьшение величины МВ между слоями I3 и I4a. По данным морфоскопии, в слое I4 найдено достаточное количество глянцевых зерен, прошедших водную обработку и имеющих признаки внутрпочвенного преобразования в виде депрессий и выветрелости. Вышеуказанные признаки отмечаются в основном на зернах II класса окатанности. Преобразование зерен не было интенсивным и затрагивало лишь часть поверхностей.

Палеопочва PS27-AP схожа по морфологии с PS25-AP. Горизонт АВк (слой I5) (1366–1406/40 см) бурый (10YR 6/6), структура глыбистая, пропитан карбонатами. Fe–Mn-примазки и кутаны находились по граням структурных отделностей. На границе слоев скопление карбонатных конкреций. Подстилающий горизонт ВСк (слой I6) (1406–1436/30 см) бурый с сизоватым оттенком (10YR 7/4, 7/6) опесчанен, очень плотный с карбонатным псевдомицелием.

Палеопочва PS27-AP формировалась на наносе, об этом свидетельствует наличие опесчаненного горизонта ВСк, а также резкие переходы значений МВ (3.7×10^{-4} СИ) от слоя I4b к слою I5 и от слоя I6 к PS28-AP (1.3×10^{-4} СИ). Вероятно, данный нанос эродировал палеопочву, которая формировалась до искомой PS27-AP. На границе слоев I6–I7 обнаружен окарибонатенный корнеход, предположительно принадлежащий эродированной палеопочве. Палеопочва PS27-AP продолжительное время функционировала в аридных условиях с периодическим увлажнением, которое приводило к локальному застою влаги.

Палеопочва PS28-AP дифференцирована на три горизонта. Горизонт АВк (слой I7a) (1436–1500/64 см) буровато-палевый (10YR 7/6), обильно пропитан Fe–Mn и оглеенными примазками. В верхней части отмечен буровато-красный затек, который может принадлежать к эродированному гумусовому горизонту или к утраченной вышележащей палеопочве. Горизонт ВСк (слой I7b) (1500–1570/70 см) палевого цвета (10YR 6/6) окарибонатен. В слое присутствуют карбонатные конкреции

и Fe–Mn-примазки. Нижняя граница не вскрыта. Горизонт Ск (слой I8) представлен палевым суглинком с карбонатным псевдомицелием.

Распределение илистой фракции в палеопочве PS28-AP равномерное по всей толще, максимальное содержание составляет 22% в горизонте АВк (слой I7a). Значения МВ (от 3×10^{-4} СИ) постепенно возрастают к низу профиля. Палеопочва формировалась по степному типу почвообразования в засушливых условиях с периодическим поступлением влаги. Подтверждением этого является общая окарибонатенность (ППП 950°C около 18%), наличие редких Fe–Mn-примазок и пятен оглеения в горизонтах АВк и ВСк. Окарибонатенный палеокорнеход, который пронизывает палеопочву, возможно, сформировался в период возрастания аридности климата. По данным морфоскопии, кварцевые зерна в основном гладко-ямчатые, преобладают зерна с признаками матовости I и II класса при высокой Q (52%). Количество специфических признаков поверхности зерен соотносится со слоем I5 ЛПС. Зерна часто имеют флювиальное происхождение с наложением признаков выветрелости: внутрпочвенное преобразование не было интенсивным. По совокупности морфологических признаков и накоплению карбонатов в горизонте ВСк, палеопочва PS28-AP в оптимальную стадию могла формироваться по типу Calcisols в условиях аридных степей с длительным сухим и коротким периодом увлажнения [10, 30, 50].

Палеофаунистический анализ. В пробе из песчано-гравийно-галечникового слоя 2 были обнаружены остатки моллюсков: макушка и обломок последнего оборота (базальный киль) брюхоного моллюска семейства Clausiliidae (рис. 5.1, 5.2), 6 раковин слизней надсемейства Limacoidea (рис. 5.3, 5.4) и обломок оперкулума (крышечки) наземного моллюска рода *Pomatias* (рис. 5.5). Преобладают в пробе фораминиферы отряда Nummulitida, переотложенные из палеогеновых отложений (рис. 5.6–5.8).

Представители рода *Pomatias* являются мезофильными моллюсками, обитающими в лесной подстилке. По данным [4] сейчас в Крыму обитает один вид *Pomatias rivularis* (Eichwald, 1829) [4]. Он распространен только в горной его части – на западе в окрестностях Севастополя в бассейне р. Сухая и на востоке в окрестностях городов Белогорск и Старый Крым, предпочитая дубовые и буковые леса. Наличие представителей семейства Clausiliidae также указывает на существование лесных массивов, поскольку большинство современных видов, обитающих на территории бывшего СССР, предпочитают селиться в лесной подстилке и в мертвой древесине, хотя есть связанные с открытыми станциями виды, способные переносить значительную сухость климата [4, 19].

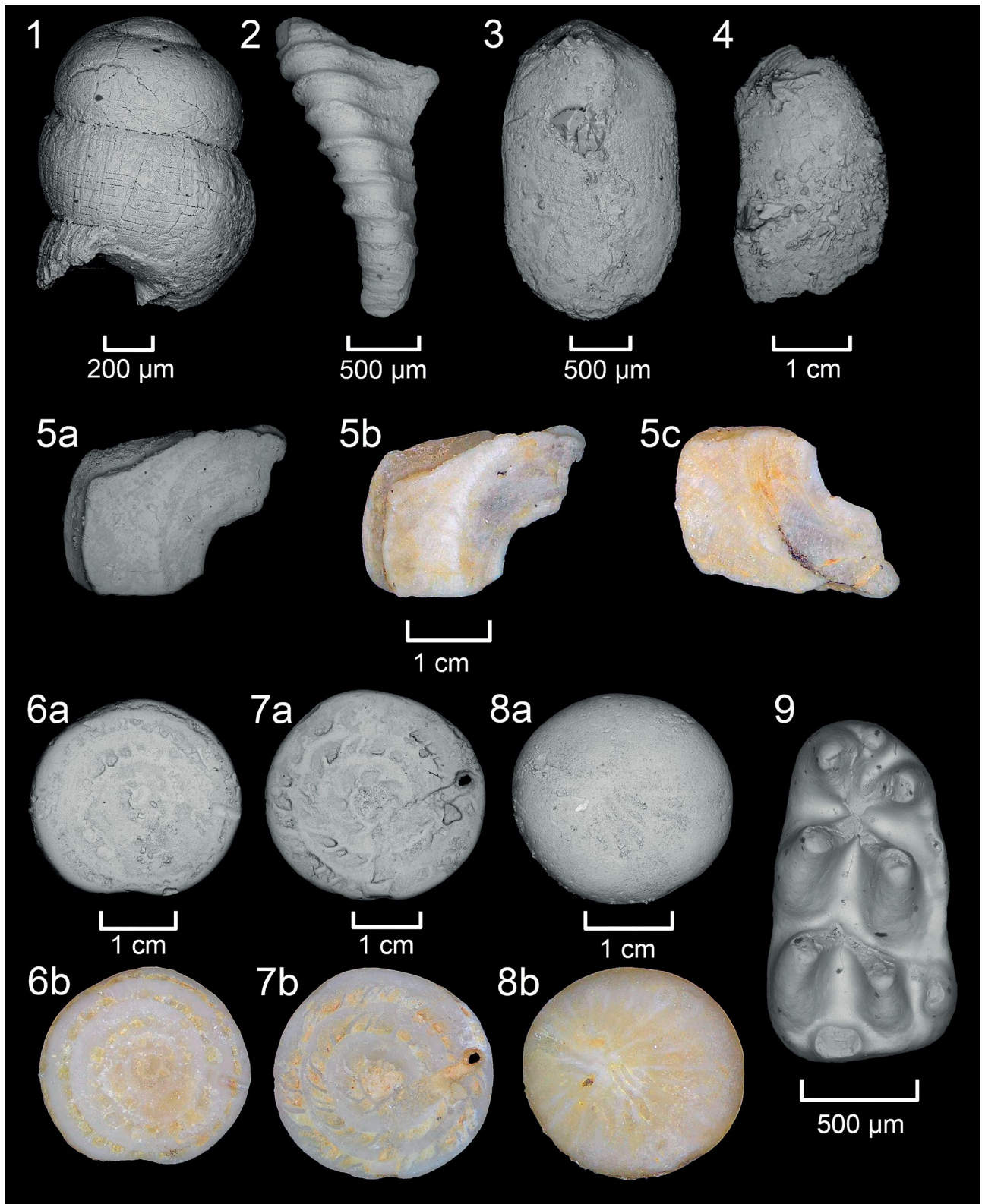


Рис. 5. Палеофауна из песчано-гравийно-галечникового слоя: 1, 2 – Clausiliidae indet. 1 – макушка; 2 – базальный киль. 3, 4 – Редуцированные раковины слизней надсемейства Limacoidea. 5 – *Pomatias* sp. обломок оперкула: а – изображения со сканирующего микроскопа; b, c – фото под световым биноклем в двух проекциях. 6–8 – *Nummulitida* indet.: 6–7 обломки раковин; 8 – целая раковина, а – изображения со сканирующего микроскопа; b – фото под световым биноклем. 9 – *Micromys* cf. *bendae* van de Weerd 1979, первый нижний коренной, m1, правый.

В образце обнаружен единственный зуб мелкой мыши (первый нижний правый коренной зуб, m1), по размерам и пропорциям зуба (1.48 × 0.83 мм) и слабо развитому буккальному цингулуму принадлежит к среднеразмерным мышам-малюткам, род *Micromys*. Эти формы крупнее *Micromys chaldeus* Storch, 1987 и *M. paricioi* Mein Moissenet & Adrover, 1983 из позднего миоцена и начала раннего плиоцена Испании и Северного Китая [54, 61] и современных (*M. minutus* (Pallas, 1771)) форм [22, 47]. По размерам экземпляр из Крыма заметно меньше, чем *M. steffensi* van de Weerd 1979 из раннего плиоцена Греции и находится между формами раннего плиоцена Греции (*M. ex gr. bendae* van de Weerd 1979 – *kozaniensis* van de Weerd 1979) [48, 68] и формами из местонахождений конца раннего плиоцена-раннего плейстоцена (*M. praeminutus* Kretzoi, 1959) Европы [47]. Исходя из предположения, что размеры единичных экземпляров обычно близки средним значениям генеральной совокупности остатков, можно отнести эту мышь к *Micromys cf. bendae* [68] (рис. 6.9) и предварительно датировать вмещающие отложения ранним плиоценом (занклием) и русцинием европейской биохронологической шкалы [46]. Современные мыши-малютки населяют луговые биотопы юга лесной и лесостепную зоны [11].

Стратиграфическая корреляция палеопочв. На территории Крыма красноцветные почвы встречаются преимущественно в плиоценовых отложениях [5–7, 31]. По данным палеофаунистического анализа, в образце из слоя 2, который завершает ЛПС, был найден зуб мыши-малютки *Micromys cf. bendae*. По предварительным оценкам, находка может датироваться ранним плиоценом (занклием), соответственно возраст позволяет соотнести изученные палеопочвы с плиоценовым периодом, не моложе занклия. По схеме современного подразделения стратиграфической шкалы плиоцена [7, 32], верхняя граница раннего плиоцена проходит по Кызылъярскому горизонту. В соответствии со стратиграфической шкалой, предложенной соавторами [7] ЛПС нижней части разреза Альма–Песчаное может принадлежать к этапам от Иванковского до Яркового. Наиболее схожими с изученными красноцветными почвами ЛПС по морфологическим описаниям и условиям формирования являются почвы двух этапов: Севастопольский, более древний, и Ярково-Ярковский, более молодой [7]. В Севастопольском этапе выделяют до 6 красно-коричневых и коричнево-красных почв субтропической лесостепи и переменного-влажных лесов, в Ярково-Ярковом этапе 3–4 ярко-красные почвы типичных саванн [6, 7, 31]. По морфологическим описаниям М.Ф. Веклича красноцветные почвы, описанные в разрезе Альма–Песчаное, соотносятся с почвами оптимальной стадии развития

Севастопольского горизонта (свиты), и с красными почвами оптимальной стадии развития Ярково-Ярковского горизонта (свиты). Почвы этапов развивались в теплом субтропическом климате, красные и коричнево-красные почвы с хорошо развитыми профилями, с признаками выщелоченности, окисленности и следами фаунистической активности. Почвы двух выделенных свит различаются по химическому составу и формировались в схожих климатических условиях и их морфологическое строение в зависимости от района имеет несколько вариаций. Буровато-палевые палеопочвы PS24-AP...PS28-AP могут относиться к Айдарскому, либо к Оскольскому горизонту. В данных стратиграфических горизонтах выделены буровато-палевые лёссовидные эмбриональные и буроцветные палеопочвы.

Ранее были подробно описаны схожие по строению профилям красноцветные почвы PS6 и PS7 разреза Береговое 2/16 около с. Береговое [59]. Эти палеопочвы авторами были отнесены к Севастопольскому горизонту, однако при сравнении свойств с PS21-AP и PS22-AP, палеопочвы с. Береговое менее преобразованы выветриванием, менее окислены (ППП 950°C от 1 до 11%) и имеют более мощные профили, тенденция распределения значений МВ схожа, однако значения несколько ниже, формирование данных почв шло непрерывно. Содержание песчаной фракции в PS6 и PS7 незначительное.

Предполагаем, что палеопочвы PS21-AP, PS22-AP и P6, P7 разреза Береговое принадлежат к одному палеогеографическому этапу в силу их схожего морфологического строения, но учитывая палеорельеф, геоморфологические условия залегания, расстояние между лёссово-почвенными сериями (около 10 км) и пространственную вариабельность палеопочвы имеют различия в педогенезе. Изученные красноцветные палеопочвы разреза Альма–Песчаное, вероятно, могут относиться к Севастопольскому, а буроцветные к Оскольскому этапам плиоцена. Следует учесть, что в исследованном разрезе Альма–Песчаное палеопочва PS21-AP частично перекрыта песчано-гравийным слоем, не видно палеопочв следующих стадий, что затрудняет корреляцию.

Принимая во внимание данные, полученные авторами [25], палеопочвы, относящиеся к интервалу от Оскольского до Ярково-Ярковского этапа, представленные в ЛПС разреза Альма–Песчаное, возможно, более древние, чем считалось [6, 7]. Ранее проведенный спорово-пыльцевой анализ из PS21-AP и PS22-AP не показал достоверных результатов, предположительно, из-за древности палеопочв. Для уточнения полученных данных требуются дальнейшие подробные палеопочвенные исследования ЛПС на территории Крымского полуострова с их последующей стратиграфической корреляцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования нижней части разреза Альма–Песчаное показали, что во время формирования лёссово-почвенной серии изменение почвенного покрова было вызвано в первую очередь условиями увлажнения. На начальном этапе в ЛПС сформировалась серия палеопочв (PS28-AP...PS24-AP) степного типа почвообразования в условиях засушливого умеренно-теплого климата с периодическим увлажнением. Проявлялась ритмичность почвообразования и осадконакопления. Количество влаги постепенно уменьшалось и отмечался тренд к постепенному похолоданию климата. В дальнейшем климат изменялся от аридного до жаркого субтропического с выраженными длительными засушливыми и влажными периодами. Красно-бурые полигенетичные палеопочвы (PS22-AP...PS21-AP) сформировались в период климатического оптимума. Формирование палеопочв в их начальных стадиях происходило по типу аридных степных почв с последующим проявлением признаков ферриалитных почв влажных субтропиков. На конечных стадиях функционирования палеопочвы подвергались иссушению. Позднее почвообразование было прервано экстремальными осадками и привнесением песчано-гравийного материала, источником которого, вероятно, являлись Крымские горы. Изученная лёссово-почвенная серия по данным палеофаунистического анализа и стратиграфической корреляции с палеопочвами района исследования относится к раннему плиоцену (занклий). Красноцветные палеопочвы PS21-AP и PS22-AP могут являться частью Севастопольского этапа, а палеопочвы PS24-AP...PS28-AP принадлежать к Оскольскому этапу плиоцена.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование фаунистических остатков выполнено в Геологическом институте РАН.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 23-27-00145.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанова Н.В., Изосимова Ю.Г., Костенко И.В., Красильников П.В. Индикаторы почвообразовательных процессов в красноцветных глинистых почвах заповедника Мыс Мартыан, южный Крым // Почвоведение. 2021. № 1. С. 1–14.
2. Агроклиматический справочник по Крымской области. Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Упр. гидрометеорол. службы УССР. Крымское гидрометеобюро. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 136 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 242 с.
4. Балашов И.А. Фауна Украины. Т. 29. Моллюски. Вып. 5. Стебельчатоглазые (Stylommatophora). Киев: Наукова думка, 2016. 592 с.
5. Веклич М.Ф. Стратиграфия лёссовой формации Украины и соседних стран. Киев: Наукова думка, 1968. 238 с.
6. Веклич М.Ф., Сиренко Н.А. Плиоцен и плейстоцен Левобережья Нижнего Днестра и равнинного Крыма. Киев.: Наукова Думка, 1976. 186 с.
7. Веклич М.Ф. Палеозаплатность и стратотипы почвенных формаций верхнего кайнозоя. Киев: Наукова думка, 1982. 208 с.
8. Величко А.А., Морозова Т.Д. Основные черты почвообразования в плейстоцене на Восточно-Европейской равнине и их палеогеографическая интерпретация // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. С. 321–337.
9. Герасимов И.П., Ромашкевич А.И. Почва и кора выветривания в генетическом профиле краснозёмов Западной Грузии // Почвоведение. 1967. № 4. С. 23–31.
10. Глазовская М.А. Почвы мира. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 234 с.
11. Громов И.М., Ербаева М.А. Зайцеобразные и грызуны // Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. СПб.: ЗИН РАН, 1995. 522 с.
12. Драган Н.А. Почвы Крыма. Симферополь: Изд-во СГУ, 1983. 95 с.
13. Заморий П.К. Палеогеография и стратиграфия погребенных почв // Бюл. ком. по изуч. четвертич. периода. 1975. № 44. С. 20–29.
14. Зайдельман Ф.Р., Селищев А.А., Никифорова А.С. Карбонатные конкреции почв гумидных ландшафтов и их диагностическое значение // Почвоведение. 2000. № 4. С. 405–415.
15. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 208 с.
16. Иноземцев С.А., Таргульян В.О. Верхнепермские палеопочвы: свойства, процессы, условия формирования. М.: ГЕОС, 2010. 188 с.
17. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
18. Климатический атлас Крыма. Приложение к научно-практическому дискуссионному аналитическому сборнику “Вопросы развития Крыма”. Симферополь: Таврия-Плюс, 2000, 118 с.

19. *Лихарев И.М.* Фауна СССР. Моллюски. Т. 3. Вып. 4: Клаузилииды (Clausiliidae). М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 318 с.
20. *Матвишина Ж.Н.* Микроморфология плейстоценовых почв Украины. Киев: Наукова думка, 1982. 144 с.
21. *Муратов М.В.* Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 208 с.
22. *Несин В.А.* Неогеновые Murinae (Rodentia, Muridae) Украины. Сумы: Университетская книга, 2013. 176 с.
23. *Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Копачевич Л.Ф., Никитин М.Ю., Панов Д.И., Фокин П.А., Габдуллин Р.Р., Гаврилов Ю.О.* Геологическая история Бахчисарайского района Крыма (учебное пособие по Крымской практике). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 60 с.
24. *Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с из аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 2. С. 13–22.
25. *Певзнер М.А., Семенов В.Н., Вангенгейм Э.А., Садчикова Т.А., Коваленко В.А., Люльева С.А.* О морском генезисе и понтическом возрасте отложений опорного разреза Любимовка в Крыму // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. № 5. С. 96–106.
26. *Подгорецкий П.Д.* Крым: природа: справочное издание. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
27. *Ромашкевич А.И.* Почвы и коры выветривания влажных субтропиков Западной Грузии. М.: Наука, 1974. 218 с.
28. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Академический проект, 2004. 432 с.
29. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. Л.: Недра. 1969. 703 с.
30. Почвоведение. Тип почв, их география и использование / Под ред. Ковды В.А., Розанова Б.Г. М.: Высшая Школа, 1988. Т. 2. 244 с.
31. *Сиренко Н.А., Турло С.И.* Развитие почв и растительности Украины в плиоцене и плейстоцене. Киев: Наукова Думка, 1986. 187 с.
32. *Сиренко Е.А.* Палиностратиграфия континентальных верхнеплиоценовых-нижеплейстоценовых отложений южной части Восточно-Европейской платформы. Киев: Наукова Думка, 2017. 165 с.
33. *Славин В.И.* Новые данные о возрасте Таврской свиты в Крыму // Доклады АН СССР. 1977. № 5. Т. 235. С. 1140–1143.
34. *Степанцова Л.В., Красин В.Н., Королев В.А.* Морфологическая характеристика карбонатных новообразований черноземовидных почв севера Тамбовской равнины // Вестник ВГУ. 2014. № 1. С. 88–96.
35. *Суханов П.А., Кашанский А.Д., Наумов В.Д.* Агрогенетическая характеристика рендзин Триполитании (Ливия) // Известия ТСХА. 2012. № 1. С. 63–71.
36. *Хабаров А.В.* Об индексах окатанности галечников // Сов. геология. 1946. № 10. С. 98–99.
37. *Akça E., Aydemir S., Kadir S., Eren M., Zucca C., Günal H., Previtali F., Zdruli P., Çilek A., Budak M., Karakeçe A., Kapur S., Fitzpatrick E.A.* Calcisols and Leptosols // The Soils of Turkey. Cham: Springer, 2018. P. 139–167.
38. *Beck H.E., Zimmermann T.R., McVicar N., Vergopolan N., Berg A., Wood Eric F.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution // Sci. Data. 2018. V. 5. P. 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
39. *Blott S.J., Pye K.* Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surf. Process. Landf. 2001. V. 26. P. 1237–1248. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.261>
40. *Bourke K.D., Williams S.W., Chandler M.A., Hayward A.M., Lunt D.J., Otto-Bliesner B.L.* Pliocene and Eocene provide best analogs for near-future climates // PNAS. 2018. V. 115. P. 1328–1329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809600115>
41. *Costantini E.A.C., Carnicelli S., Sauer D., Priori S., Andretta A., Kadereit A., Lorenzetti R.* Loess in Italy: genesis, characteristics and occurrence // Catena. 2018. V. 168. P. 14–33. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.002>.
42. FAO. Guidelines for Soil Description. Rome: FAO, 2006. 97 p.
43. FAO-ISRIC. Guidelines for profile description. Rome: FAO. 1990.
44. *Fedoroff N., Courty M.-A.* Revisiting the genesis of red Mediterranean soils // Turkish J. Earth Sci. 2003. V. 22. P. 359–275. <https://doi.org/10.3906/yer-1205-10>
45. *Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G.* Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // J. Paleolimnol. 2001. V. 25. P. 101–110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
46. *Hilgen F.J., Lourens L.J., van Dam J.A.* The Neogene Period // The Geologic Time Scale. Oxford: Elsevier, 2012. P. 924–956.
47. *Horáček I., Knitlová M., Wagner J., Kordos L., Nadachowski A.* Late Cenozoic History of the Genus *Micromys* (Mammalia, Rodentia) in Central Europe // PLoS ONE. 2013. V. 8. P. 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062498>
48. *Hordijk K., de Bruijn H.* The succession of rodent faunas from the Mio/Pliocene lacustrine deposits of the

- Florina- Ptolemais-Servia Basin (Greece) // *Hellenic J. Geosci.* 2009. V. 44. P. 21–103.
49. *Huang X., Yang S., Haywood A., Tindall J., Jiang D., Wang Y., Sun M., Zhang S., Ding Z.* Simulations reveal causes of inter-regional differences in Pliocene climatic periodicity // *Sci. Bull.* 2023. V. 68. P. 146–149. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2022.12.031>
50. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO World Soil Resources Reports, 2014. V. 106. 181 p.
51. *Kenig K.* Surface microtextures of quartz grains from Vistulian loesses from selected profiles of Poland and some other countries // *Quarter. Int.* 2006. V. 152–153. P. 118–135.
52. *Krinsley D.H., Doornkamp J.C.* Atlas of Quartz Sand Surface Textures. Cambridge: Cambridge University Press, 1973. 93 p.
53. *Khmeleva M.V., Panin P.G., Chepalyga A.L., Karpukhina N.V., Naidina O.D., Bukhonov A.V.* The structure and formation conditions of the Early Pleistocene paleosols in the loess-paleosol sequence of the Alchak-Sedlovina section (Republic of Crimea) // *Geomorfologiya.* 2022. V. 53(5). P. 89–102. <https://doi.org/10.31857/S0435428122050054>
54. *Mein P., Moissenet E., Adrover R.* L'extension et l'âge des formations continentales pliocènes du fossé de Teruel (Espagne) // *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris.* 1983. V. 296. P. 1603–1610.
55. *Mirabella A., Costantini E.A.C., Carnicelli S.* Genesis of a polycyclic Terra Rossa (Chromic Cambisol on Rhodic Nitisol) at the Poggio del Comune in Central Italy // *J. Plant Nutrition Soil Sci.* 1992. V. 155. P. 407–413. <https://doi.org/10.1002/jpln.19921550510>
56. Munsell Color. Munsel Soil Color Charts. New Windsor: GretagMacbeth, 2000.
57. *Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Yu.M., Velichko A.A.* Morphology and micromorphology of the loess- paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // *Catena.* 2018. V. 168. P. 79–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.032>
58. *Panin P.G., Timireva S.N., Konstantinov E.A., Kalinin P.I., Kononov Yu.M., Alekseev A.O., Semenov V.V.* Plio-pleistocene paleosols: loess-paleosol sequence studied in the beregovoye section, the Crimean Peninsula // *Catena.* 2019. V. 172. P. 590–618. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.020>
59. *Panin P., Kalinin P., Filippova K., Sychev N., Bukhonov A.* Paleo-pedological record in loess deposits in the south of the East European plain, based on Beglitsa-2017 section study // *Geoderma.* 2023. V. 437. P. 116567. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116567>
60. *Pécsi M., Gere, L., Schweitzer F., Scheuer G., Márton P.* Loess and paleosol sequence in Hungary reflecting cyclic climatic deterioration in the Late Cenozoic // *Pleistocene Environment in Hungary.* Budapest: Geographic Research Institute. 1987. P. 39–57.
61. *Storch G.* The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China. 7. Muridae (Rodentia) // *Senckenbergiana Lathaea.* 1987. V. 67. P. 401–431.
62. *Targulian V.O., Krasilnikov P.V.* Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance // *Catena.* 2007. V. 71. P. 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.007>
63. *Urushadze T.F., Kvrivishvili T.O., Sanadze E.V.* An experience in using the world reference base for soil resources for the soils of western Georgia // *Eurasian Soil Sci.* 2014. V. 47. P. 752–760. <https://doi.org/10.1134/S1064229314080122>
64. *Vos K., Vandenberghe N., Elsen J.* Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation // *Earth-Science Rev.* V. 128. 2014. P. 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.013>
65. *Varga G.* Similarities among the Plio-Pleistocene terrestrial aeolian dust deposits in the world and in Hungary // *Quat. Int.* 2011. V. 4. P. 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.09.011>
66. *Velichko A., Timireva S.* Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers // *GeoJournal.* 1995. V. 36. P. 143–149.
67. *Walkley A.J., Black I.A.* Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method // *Soil Sci.* 1934. V. 37. P. 29–38.
68. *Weerd A. van de* Early Ruscinian rodents and lagomorphs (Mammalia) from lignites near Ptolemais (Macedonia, Greece) // *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.* 1979. V. 82. P. 127–170.
69. *Yin K., Hong H., Algeon T.J., Churchman G.J., Li Z., Zhu Z., Fang Q., Zhao L., Wang C., Ji K., Lei W., Duan Z.* Fe-oxide mineralogy of the Jiujiang red earth sediments and implications for Quaternary climate change, southern China // *Scientific Rep.* 2018. V. 8. P. 3610. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20119-4>
70. *Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y.* Pedogenic carbonates: forms and formation processes // *Earth Sci. Rev.* 2016. V. 157. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.03.003>

Soil Formation of Early Pliocene Paleosols According to Data of the Alma–Peschanoye Loess – Paleosol Section (Western Part of the Crimean Peninsula)

M. V. Khmeleva^{1, 2, *}, P. G. Panin¹, P. D. Frolov³, A. S. Tesakov³, and A. V. Bukhonov⁴

¹*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia*

³*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow Russia*

⁴*Erisman Federal Scientific Centre of Hygiene, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Mytishchi, 141014 Russia*

*e-mail: khmeleva@igras.ru

The article considers the loess-paleosol sequence of the Alma-Peschanoye section, located in the west of the Crimean Peninsula. A detailed analysis of morphological, physicochemical, and a number of other features made it possible to identify 8 paleosols that developed under different conditions. The estimated age of the loess-paleosol sequence was established on the basis of paleofaunal analysis based on the discovery of a tooth from the mouse *Micromys cf. bendae*. According to the data obtained, at the initial stage, the formation of paleosols proceeded rhythmically under dry, moderately warm conditions. The paleosols developed according to the steppe type of soil formation (WRB – Kastanozems). Later, the climate changes towards an increase in temperature and humidity, and two red-brown polygenetic paleosols are formed. Their soil formation took place in stages in conditions from arid to hot humid subtropical climate; at the optimal stages of soil development, the soils were formed according to the type of fersiallite (Nitisols). At the final stages of development, paleosols were formed under sharp changes in the regimes of moistening – desiccation. The studied red-colored paleosols can presumably belong to the Sevastopol stratigraphic horizon. The studies carried out made it possible to characterize the landscape and climatic conditions and form an idea of the genesis of the soil cover in the early Pliocene.

Keywords: soil morphology, paleosol, climate change, Zanclean, East-European plain