

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 551.89+631.472.8

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЕРИОДА МИГРАЦИИ РАННИХ ГОМИНИД В СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ ПО ДАННЫМ ФИТОЛИТНОГО АНАЛИЗА

© 2025 г. А. А. Гольева¹*, О. С. Хохлова²

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Московская область, Россия

*e-mail: Golyevaaa@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.11.2023 г.

После доработки 21.02.2025 г.

Принята к публикации 31.03.2025 г.

На археологическом памятнике Карахач на севере Армении в педоседиментах второй половины нижнего плейстоцена и начала среднего плейстоцена, содержащих раннеашельские каменные орудия древних гоминид (*Homo erectus*), был проведен комплексный геоархеологический анализ с упором на фитолитные данные. Целью настоящего исследования являлось определение особенностей климата и ландшафта, обусловивших формирование и функционирование педоседиментов упомянутого памятника в период колонизации Евразии мигрантами-гоминидами из Африки. Работы проводились в бывшем песчаном карьере с вулканическим происхождением песков Карахач (N 41°00.491', E 44°00.154', 2274 м над ур. м.), прорезающем подножие склона Джавахетского вулканического хребта. Образцы на фитолитный анализ были отобраны из слоев с признаками палеопедогенеза. Комплексы фитолитов в педоседиментах оказались сходны и состояли из видов разных местообитаний, таких как сухие степи, влажные луга, хвойные и лиственные леса. Подобные комплексы, как правило, характерны для понижений рельефа, аккумулирующих различные мелкие частицы, принесенные с возвышенностей. Большинство педоседиментов на исследуемом участке формировались под сообществами растений С3, за исключением наиболее древнего педоседимента (слой 12), в котором обнаружена незначительная доля растений С4 типа фотосинтеза. Обнаружение фитолитов С4 типа фотосинтеза хорошо согласуется с данными изотопного состава С в изученных слоях. Полученные результаты позволили реконструировать региональный палеоклимат для периода 1.9–1.75 млн л. н. Для него характерны резкие колебания месячных осадков и температуры, жаркое и сухое лето, холодная и влажная зима. К концу исследуемого периода, ~1.75 млн л. н., климат стал более влажным. Данные фитолитного анализа, а именно исчезновение фитолитов С4-растений и значительное увеличение доли лесных растений, показали постепенное похолодание климата.

Ключевые слова: средний плейстоцен, ашель, педоседименты, комплексы фитолитов, почвенно-осадочные архивы, палеоландшафтные реконструкции

DOI: 10.7868/S2658697525030071

ВВЕДЕНИЕ

На севере Армении (Лорийское плато) археологами из Института истории материальной культуры (Санкт-Петербург) В.П. Любиным и Е.В. Беляевой в 2010 г. были открыты стратифицированные памятники раннего палеолита, включавшие раннеашельские каменные индустрии древних гоминид (*Homo erectus*) (Асланян и др., 2007; Беляева, 2009, 2011; Беляева, Любин, 2012, 2013), согласно Схеме подразделений четвертичной системы, утвержденной Комиссией

по стратиграфии Международного союза геологических наук (МСГН) (Trifonov et al., 2016).

Культурные слои залегают в отложениях второй половины нижнего плейстоцена и начала среднего плейстоцена (Беляева, 2022). Подобные многослойные археологические памятники, относящиеся к серии раннеашельских, обнаружены в пределах Северной Армении и Южной Грузии. Работы археологов на памятнике Карахач сопровождалась большим комплексом естественнонаучных исследований, позволивших определить палеомагнитные характеристики

отложений (Trifonov et al., 2015), и возрастной диапазон памятника: интервал 1.9–1.75 млн л. н. согласно U-Pb датированию (Presnyakov et al., 2012).

Настоящая статья является одной из серии естественно-научных статей, посвященных изучению этого археологического объекта, и опирается на результаты, полученные ранее (Ревунова и др., 2021; Khokhlova et al., 2014, 2016, 2018). Так, одна из предыдущих работ была посвящена выявлению возможных педоседиментов в пределах мощного (>8 м) разреза слоистых отложений, то есть определению периодов стабилизации поверхности и, следовательно, почвообразования на исследуемом памятнике. В статье подчеркивалось, что находки каменных орудий не переотложены, т.е. этот участок, безусловно, находился на пути миграции древних гоминид из Африки (Khokhlova et al., 2018).

На основании имеющихся данных можно уверенно говорить, что археологический памятник Карахач является уникальным, имеющим серию нижнеплейстоценовых педоседиментов, которых более нигде в окрестностях пока не обнаружено. Например, в ходе многолетних исследований всемирно известного памятника Дманиси в Грузии были выявлены только самые нижние горизонты палеопочв, не поддающиеся таксономической идентификации (Blain et al., 2014; Messenger et al., 2010a, b). Последнее можно объяснить тем, что Дманиси была долговременной стоянкой в эпоху раннего палеолита и, следовательно, исходные почвы подверглись антропогенному преобразованию.

Обнаружение раннепалеолитических педоседиментов на плато Лори имеет большое значение, поскольку почва как уникальная и сложная природная система способна сохранять в своем теле многие черты прошлых природных эпох в течение длительного времени. Эта способность почв называется “почвенной памятью” (Таргулян, Горячкин, 2008), и компоненты почвенной памяти обладают разной степенью устойчивости и уровнем информативности (Lapsansky et al., 2016; Schindler and Hochella, 2015; Zhang et al., 2021 и др.), что позволяет использовать педоседименты для реконструкции палеосреды (палеоландшафта и палеоклимата) периода миграции древних гоминид. Традиционный палинологический метод не дал значимых результатов при анализе образцов из разных участков Лорийского плато ввиду практически полного отсутствия пыльцы во всех пробах (Trifonov et al., 2016). Поэтому в качестве основного метода в настоящем исследовании был использован фитолитный анализ, в котором большое внимание было

уделено специфике фитолитных комплексов выявленных педоседиментов.

Малые размеры фитолитов, их физическая и химическая инертность по отношению к основным свойствам почвы и высокая устойчивость позволяют использовать данные частицы в палеопочвенных исследованиях и палеоэкологических реконструкциях даже в случаях очень древних стоянок и отложений (Stromberg, 2004; Strömberg and McInerney, 2011). Ранее, фитолитный анализ был успешно применен для палеоэкологических реконструкций на стоянке того же хроноинтервала Дманиси (Messenger et al., 2010a, b, 2011), расположенной всего в 40 км к северу от стоянки Карахач. Это позволяет сравнивать результаты обоих памятников, хотя на Карахаче анализировались палеопочвы, а в Дманиси изучались культурные слои древней стоянки.

Цели настоящего исследования: 1) определение особенностей климата и ландшафта, обусловивших формирование и функционирование педоседиментов археологического памятника Карахач в период колонизации Евразии мигрантами гоминидами из Африки, главным образом на основе анализа фитолитных комплексов и 2) проведение сравнительного анализа выявленных фитолитных комплексов с таковыми у хронологически и географически близких археологических памятников.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Природно-климатическая характеристика

Исследования проводились в Северной Армении в пределах Лорийского нагорья, представляющего собой впадину между Базумским, Джавахетским и Сомхетским хребтами Малого Кавказа (рис. 1). Лорийское плато это – слабо-волнистая равнина, сложенная озерными отложениями с прослоями обломков горных пород, принесенных с прилегающих возвышенностей. Днище и борта впадины выполнены вулканическими слабощелочными базальтами и базальтовыми андезитами возрастом ~2 млн л. Современный рельеф и речная сеть сформировались в четвертичном периоде, после значительного подъема территории. Расчеты высот рельефа в середине раннего плейстоцена (~2.0–1.8 млн л. н.), когда в этой области впервые появились ранние Номо, показывают низменные равнины и слабоврезанные речные долины в сочетании с низкогорными деформационными поднятиями и отдельными возвышающимися вулканами (Trifonov et al., 2019). По данным исследователей, изучавших палеоэкологию Юго-Западной Азии, к которой принадлежит и изучаемое нами Лорийское нагорье, климат в раннем плейстоце-

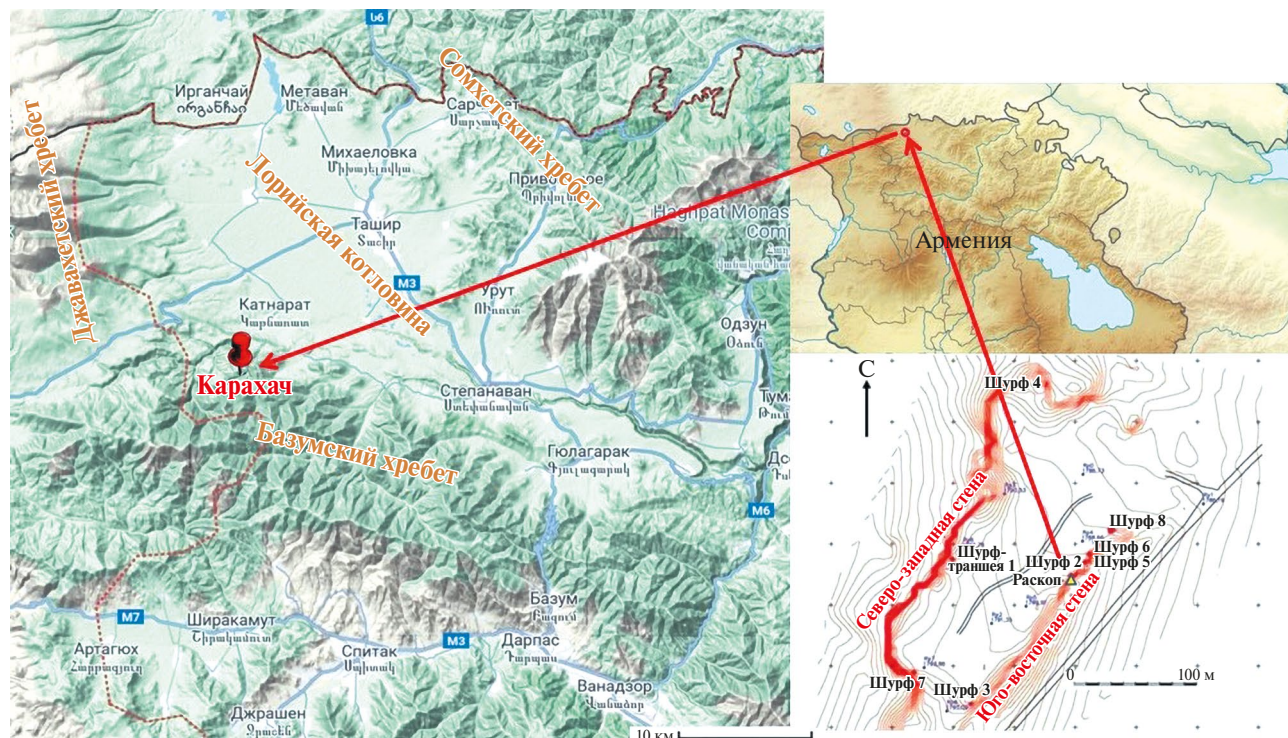


Рис. 1. Локализация памятника Карахач на территории Армении.

Примечания. Топоплан карьера Карахач дан по (Беляева, 2022). Участок работ выделен треугольником.

не был заметно мягче современного. Открытые остепненные пространства с участками кустарниковой и лесной растительности напоминали те, в которых ранние гоминиды обитали в Восточной Африке (Тесаков и др., 2020; Bar-Josef and Belmaker, 2011; Dennell, 2003, 2004). Такая природная обстановка реконструируется, в частности, для раннеплейстоценовой стоянки Дманиси (север Грузии) (Gabunia et al., 2000; Messenger et al., 2010). В настоящее время район исследования расположен в пределах современной горно-степной зоны на высоте — 1700 м над ур. м. Базумский и Сомхетский хребты сложены дислоцированными осадочными породами юрского и мелового возраста с вулканическими телами эоценового возраста. Джавахетский хребет имеет вулканическое происхождение и сформировался в позднем плиоцене — раннем плейстоцене. Он протянулся на 50 км, высочайшая вершина, г. Ачкасар, достигает 3196 м. При этом реконструкция палеорельефа показала, что высоты Джавахетского хребта в начале его существования были ниже примерно на полкилометра (Трифонов и др., 2014; Trifonov et al., 2016). Неоднородная литология в нижней части изученного разреза Карахач отражает пульсирующую вулканическую активность в раннем плейстоцене. Последние известные извержения в этом районе были в среднем калабрии (1.5–1.4 млн л. н.), (Трифонов и др., 2014).

Современный климат Лорийского плато континентальный, с умеренно теплым летом (средняя температура июля $+17^{\circ}\text{C}$), умеренно холодной и малоснежной зимой (средняя температура января -4°C), среднегодовое количество осадков около 700 мм (Багдасарян, Габриелян, 1962).

Растительный покров представлен лугово-степными сообществами, так как все коренные редколесья вырублены (Fayvush et al., 2013). Различные типы землепользования в регионе, включая земледелие, пастбища и лесные насаждения, в целом полностью изменили облик природных ландшафтов Лорийского плато. В почвенном покрове преобладают распаханые почвы черноземного типа.

Место исследования и отбор проб

Работы проводились в бывшем песчаном карьере с вулканическим происхождением песков Карахач ($N\ 41^{\circ}00.491'$, $E\ 44^{\circ}00.154'$, 2274 м над ур. м.), прорезающем подножие склона Джавахетского вулканического хребта (см. рис. 1), где под слоем туфа в ходе археологических работ была вскрыта пачка отложений пролювиально-аллювиального генезиса (рис. 2). Литолого-стратиграфические данные и вопросы генезиса и возраста отложений в раскопах карьера Карахач подробно описаны в монографии автора раскопок (Беляева, 2022); здесь мы при-

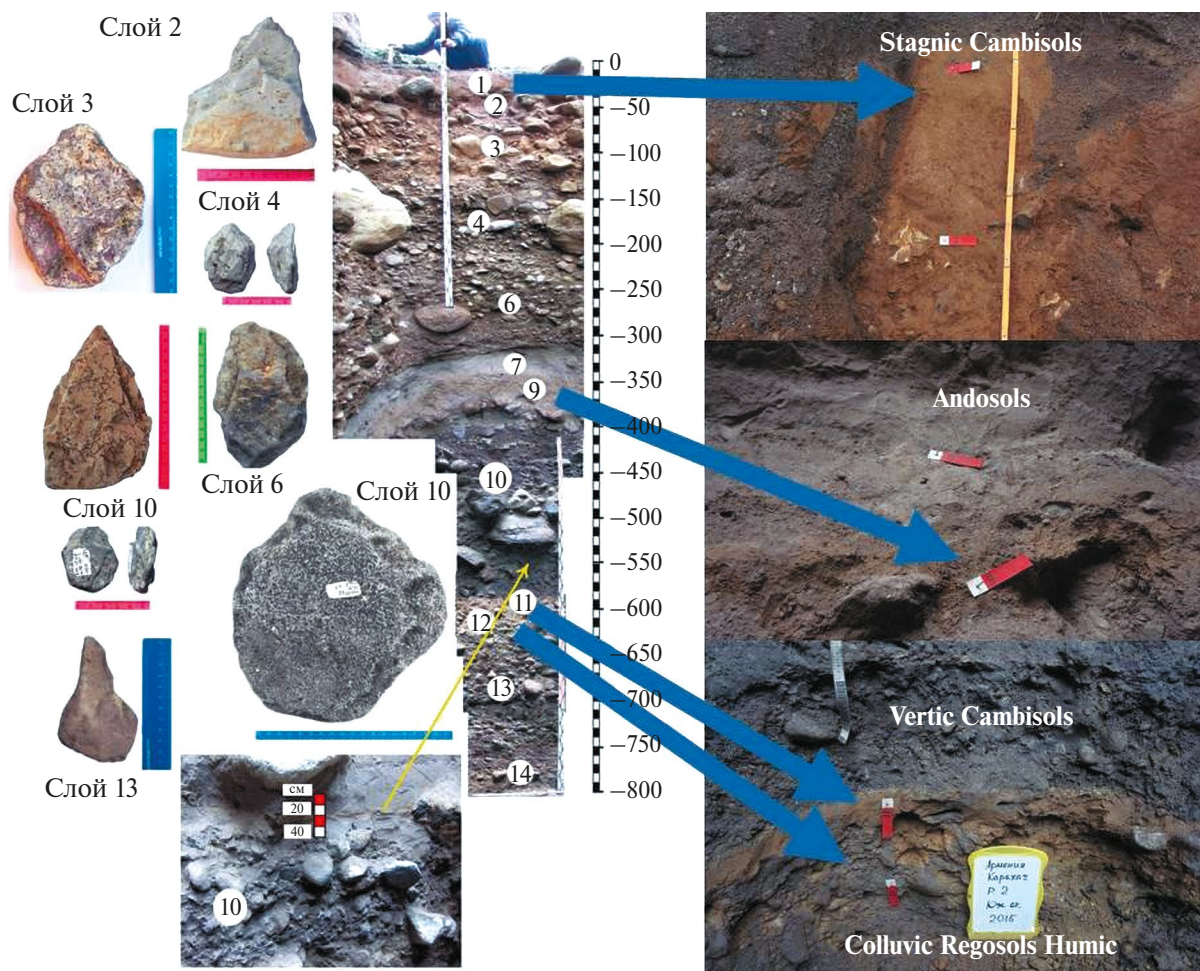


Рис. 2. Карьер Карахач. Шурф-раскоп 8-метровых отложений с указанием слоев и фотографиями каменных изделий, обнаруженных в слоях. Стрелками показаны выделенные фрагменты шурфа с участками педоседиментов и названиями предполагаемых реферативных групп почв согласно WRB-22. Красным отмечены места отбора проб на фитолинтный анализ.

водим лишь краткую выжимку, необходимую для понимания материала.

Карахачский разрез состоял из трех основных стратиграфических подразделений (пачек отложений): (I) верхняя — неслоистые, плохо окатанные валунно-галечные отложения с супесчаным матриксом мощностью до 9 м; палеомагнитные пробы из нижней трети пачки показали вверх обратную полярность, самый низ — прямую; (II) средняя — агломератовые туфы мощностью от 5 до 14 м, в нижней части переходят в пепел и туфогенный песок. По извлеченным из пепла цирконам получены SIMS U-Pb даты: 1.944 ± 0.046 для подошвы и 1.826 ± 0.02 млн л. н. для кровли. На юго-западной стенке карьера над раскопом 2, в котором проводились наши исследования, пачка II имеет обратную намагниченность, выше подошвы пачки II получена SIMS U-Pb дат: 1.75 ± 0.002 , а для средней части этой пачки 1.799 ± 0.044 млн л. н. (Presnyakov et al., 2012), и (III) нижняя пачка слоистого галечно-гравийного материала с супесчаным матрик-

сом с горизонтами педоседиментов и линзами пепла, мощностью 8.2 м с богатыми находками ашельских орудий, слои III.1–14. Слои III.2–10 в целом показали прямую намагниченность; из линзы пепла на глубине 3.5 м (слой III.7) получена SIMS U-Pb дата: 1.947 ± 0.045 млн л. н. (Presnyakov et al., 2012).

Итак, на основании палеомагнитных характеристик, а также U-Pb датировок вулканогенных отложений выше и ниже нижней пачки Карахачского разреза установлено, что раннеашельские гоминиды заселяли исследуемый район в период от 1.9 до 1.75 млн л. н., что соответствует эпизоду прямой полярности Олдувай.

Наши исследования были проведены в 2014 г. в раскопе 2, вскрывшем пачку III в максимальной мощности, 8.2 м (см. рис. 2). В исследованном раскопе номера слоев были даны в соответствии с археологической нумерацией, максимально археологами было выделено 14 слоев, в 2014 г. зачистка раскопа не включила слои 5, 8. Для удобства описания (на основе морфологического

сходства) и понимания наличия в слоях признаков педогенеза, слои были объединены нами в пять групп:

I. Серый и темно-серый материал, полученный из обломочных пород и осадочных пород (конгломератов), состоящий из валунов и гальки, сцементированных крупным песком – слои 4 [140(150)–230(240) см], 6 [230(240)–330 см], 10 [360(370)–590 см], 12 [610(620)–660 см], 13 (660–780 см) и 14 (780–800 см);

II. Очень каменистые (валуны, глыбы, крупные плитчатые обломки андезито-дацитовых пород), а между ними – крупнозернистый бурый суглинок с редкими обломками – слои 2 [25(30)–80 см] и 3 [80–140(150) см];

III. Суглинок бурый мелкозернистый без обломочной фракции – слои 1 [0–25(30) см] и 11 [590–610(620) см]; в поле мы полагали, что именно в этих слоях обнаружение признаков педогенеза наиболее вероятно;

IV. Светло-серый крупнозернистый вулканический пепел – слой 7 (330–350 см);

V. Коричневый мелкозернистый вулканический пепел – слой 9 [350–360(370) см].

Следует отметить, что мелкозернистый коричневый слой 9 (группа V), вероятно, был продуктом педогенной трансформации вулканического пеплового материала, аналогично слою 7 (группа IV). Отличительной чертой двухметрового слоя 10 (группа I) было наличие серых чисто пепельных прослоев с тонкими (2–5 см) светло-коричневыми линзами. Две такие коричневые линзы с глубин 500–505 и 560–562 см в слое 10 и бурые тонкозернистые слои 1, 9 и 11 (группы III и V) рассматривались в полевых условиях как потенциальные носители признаков палеопедогенеза.

Пробы для физико-химических анализов отбирали вертикальной колонкой с интервалом 5–10 см из всех линз и слоев. В каменистых слоях [кроме чрезвычайно каменистого слоя 3 (группа II)] также были взяты пробы с помощью геологического молотка и последующим отбором мелкозема, находившегося между камнями.

В результате ранее проведенных нами исследований педоседименты диагностированы в слоях 1, 2, 9, 11, 12 и двух упомянутых линзах слоя 10. После лабораторных исследований и микроморфологического анализа они были классифицированы следующим образом: слои 12 и 11 – наиболее близки к Colluvic Regosol Humic и Vertic Cambisol соответственно; слои 1 и 2 – вероятно, Stagnic Cambisols; слой 9 и линзы внутри слоя 10 – возможно, Andosols с обилием редоксиморфных признаков (подвижности оксидов Fe и Mn) (Khokhlova et al., 2018).

Образцы на фитолитный анализ были отобраны из слоев с потенциальными признаками палеопедогенеза.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплекс методов, используемых в настоящем исследовании, включал фитолитный анализ, а также определение валового состава, магнитной восприимчивости, общего содержания углерода и азота и соотношения изотопов углерода в отобранных образцах. Эти дополнительные показатели служили определенными независимыми источниками информации при палеореконструкциях условий среды, и выводы, полученные при их изучении, были сопоставлены с таковыми, полученными при изучении фитолитов.

Фитолитный анализ

Для фитолитного анализа 50-граммовые образцы обрабатывали 30%-ным раствором перекиси водорода, а затем отделяли от зерен кварца и других минералов флотацией в тяжелой жидкости с удельным весом 2.3 г/мл (смесь растворов йодистого кадмия и йодистого калия). После центрифугирования всплывшую верхнюю биогенную часть собирали и несколько раз промывали дистиллированной водой, высушенный осадок заливался глицерином. Препараты анализировали под оптическим микроскопом Olympus BX51 TL RL при увеличении 400×. Фитолиты были идентифицированы и подсчитаны. Данные, полученные по составу фитолитного комплекса в отдельных пробах, использованы для анализа распределения фитолитов в пределах всего изучаемого разреза. В каждом образце анализировали не менее 500 частиц для получения статистически достоверных данных. В ряде случаев детали морфологии фитолитов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6610LV (Япония) в Центре коллективного использования “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” ИГ РАН.

Морфологическое описание и обозначения фитолитов основывались на Международном своде номенклатуры фитолитов (ICPN) 2.0 (International ..., 2019), а их биоценотические характеристики определялись согласно (Golyeva, 2007) (табл. 1). Идентификацию фитолитов проводили путем сравнения выделенных морфотипов с эталонными формами, обнаруженными в стеблях, соцветиях и листьях растений умеренной климатической зоны из собственной базы данных (Гольева, 2001) и литературных источников по диагностике фитолитов растений C4 (Cordova, 2013; Cordova and Avery, 2017).

Таблица 1. Морфотипы фитоцитов, их биоценотическая характеристика и тип фотосинтеза

ICPN 2.0 Морфотип	ICPN 2.0 Код сокращенно	Биоценотическая характеристика	C3/C4 – тип фотосинтеза
ELONGATE ENTIRE	ELO_ENT	Двудольные и ряд однодольных трав	C3
BLOCKY RECTANGULAR BLOCKY VELLOATE	BLO_RES BLO_VEL	Иглы хвойных	C3
ACUTE BULBOSUS_L*	ACU_BUL_L	Лесные злаки и осоки	C3
ACUTE BULBOSUS_S* BILOBATE ELONGATE SINUATE POLYLOBATE	ACU_BUL_S BIL ELO_SIN POL	Луговые злаки	C3
RONDEL CONICAL RONDEL TRAPEZIFORM	RON_CON RON_TRZ	Степные злаки	C3
BLOCKY POLYCONAL ELONGATE DENTATE	BLO_POL ELO_DET	Аридные травы	C3
BULLIFORM FLABELLATE	BUL_FL	Тростник	C3
CROSS	CRO	Злаки тропиков	C4

Примечание: * L – с массивным основанием; S – с небольшим основанием.

Валовой состав

Все отобранные из разных слоев Карахаха образцы не содержали карбонатов. Их высушили на воздухе, измельчили и просеяли через сито с размером ячеек 1 мм перед последующим анализом. Определение основных оксидов во всех образцах, которые были высушены при 105°C и обработаны боратным плавлением (чтобы получить желаемый образец для рентгенфлуоресцентного анализа), проводили с использованием рентгенфлуоресцентного спектрометра PANalytical Axios mAX, оснащенного рентгеновской трубкой мощностью 4 кВт (максимальное напряжение 60 кВ) и Rh-анодом (максимальный ток 160 мА).

Магнитная восприимчивость

Магнитную восприимчивость измеряли в лаборатории Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН каппаметром КТ-5. Для унификации измерений образцы предварительно высушивались и просеивались через сито.

Изотопный анализ C и определение общего содержания C и N

Соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) в образцах измеряли с использованием проточного масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V Plus (Thermo Electron GmbH, Бремен, Германия) в сочетании

с анализатором элементного состава (Thermo Flash 1112, Thermo Electron) в Институте экологии и эволюции РАН. Изотопный состав C выражали в Δ -обозначении относительно международного стандарта (VPDB): $\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = [(R_{\text{проба}}/R_{\text{стандарт}}) - 1] \times 1000$, где R – отношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Образцы анализировали с использованием эталонного газа, откалиброванного по эталонным материалам МАГАТЭ (Вена, Австрия) USGS 40 и USGS 41 (глутаминовая кислота, $\delta^{13}\text{C} = -26.389\text{‰}$ и $+37.626\text{‰}$ соответственно) и IAEA-CH3 (целлюлоза, $\delta^{13}\text{C} = -24.724\text{‰}$). Дрейф был скорректирован с использованием внутреннего лабораторного стандарта (казеин, $\delta^{13}\text{C} = -27.24\text{‰}$). Стандартное отклонение значений $\delta^{13}\text{C}$ в USGS 40 ($n = 8$) составило $<0.2\text{‰}$. Поскольку измеренные образцы не содержали карбонатов, их не подвергали кислотной обработке перед изотопным анализом.

Общее содержание углерода и азота определяли на анализаторе CHNS-932 (Leco, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фитолитный анализ

Во всех исследованных педоседиментах пачки III разреза Карахач обнаружены фитолиты в большом количестве и хорошей сохранности, а именно, в слоях: 1 (0–25(30) см), 2 (25(30)–80 см), 9 (350–360(370) см), 11(590–610 см)

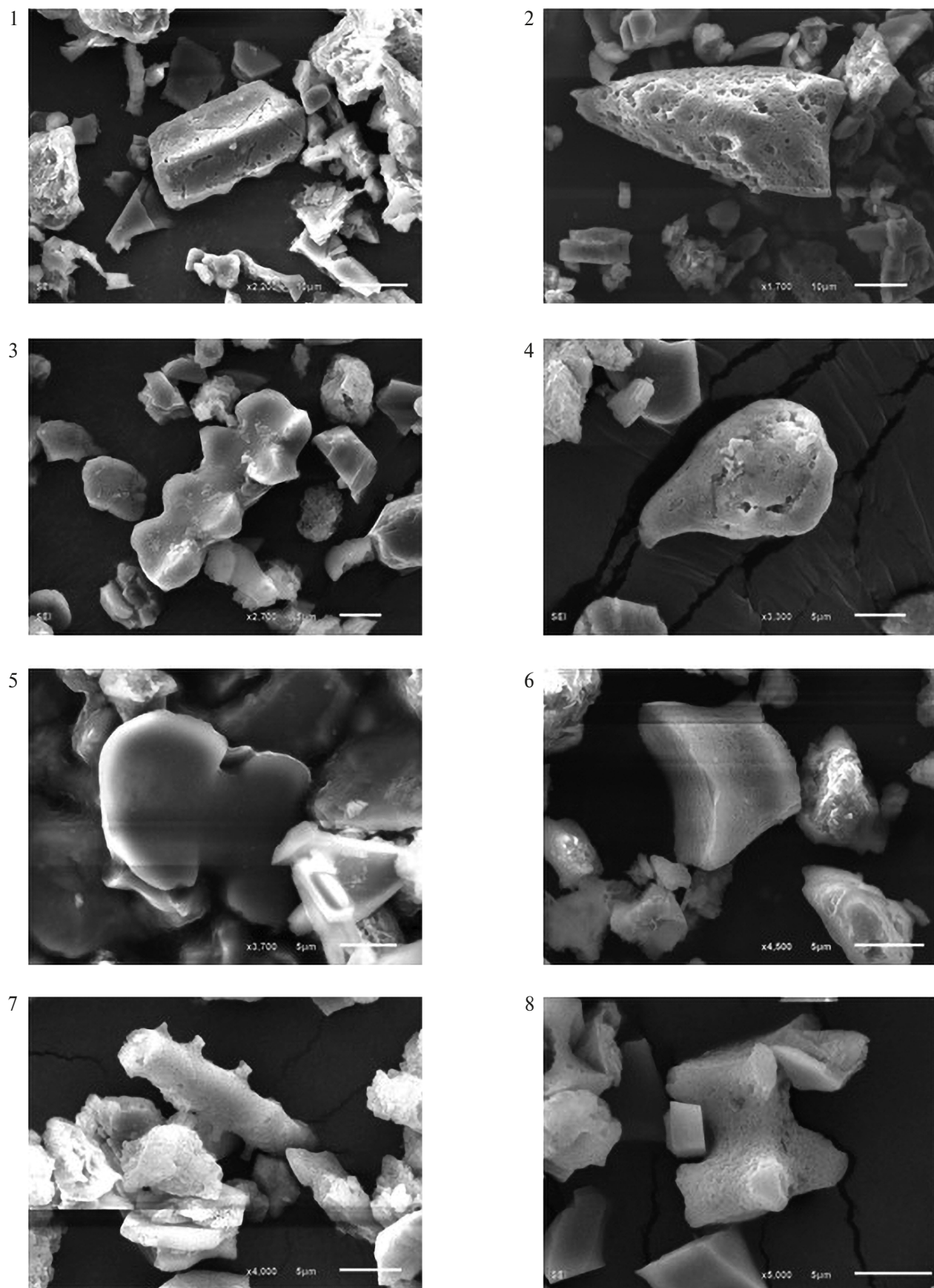


Рис. 3. Фитолиты из педоседиментов: 1–7 – травы и деревья растений С3 типа фотосинтеза: 1 – BLO_VEL (хвойные), 2 – ACU_BUL_L (лесные злаки и осоки), 3 – POL (луговые злаки), 4 – ACU_BUL_S (луговые злаки), 5 – BIL (луговые злаки), 6 – RON_CON (степные злаки), 7 – ELO_DET (аридные травы); 8 – растения типа С4 (CRO – злаки тропиков).

и 12 (610(620)–660 см), а также в двух линзах (500–505 и 560–562 см) слоя 10.

В изученных пробах состав фитолистных комплексов характеризовался наличием морфотипов, типичных для хвойных (BLO_RES+BLO_VEL) (рис. 3.1), которые имели низкое содержание (4% от общего числа фитолинов) в самом нижнем слое 12 и существенно более высокое (9–11%) в остальных педоседиментах. Аналогичная тенденция наблюдалась и в распределении фитолинов, типичных для лесных сообществ (ACU_BUL_L) (рис. 3.2), содержание которых в слое 12 составляло 3%, в то время как в остальных педоседиментах — 6–8%. Наибольший вклад в состав фитолистных комплексов во всех слоях отмечен для морфотипов луговых злаков (ACU_BUL_S+BIL+ELO_SIN+POL) (рис. 3.3–5) и разнотравья (ELO_ENT). Их распределение носило противоположный характер по сравнению с хвойными — с максимальным содержанием 40% в самом нижнем и наиболее древнем слое 12, несколько меньшим в верхних слоях 1 и 2 (31 и 36% соответственно). Минимальное количество этих морфотипов было в тонком слое 9 и линзах слоя 10 (23–22%). Встречались формы, характерные для степных трав (сухих местообитаний) (RON_CON+RON_TRZ) (рис. 3.6), доля которых варьировала от 4% в самом нижнем педоседименте до 5% в слое 9 и 7% в самом верхнем из изученных слоев. Кроме того, выявлены единичные находки фитолинов водно-болотной флоры (на-

пример, тростника) (BUL_FL_A), а также аридных трав (BLO_POL+ELO_DET) (рис. 3.7).

Кроме фитолинов, типичных для сообществ умеренного пояса (растения С3-типа фотосинтеза), самый нижний педоседимент (самая древняя палеопочва в пределах исследованного разреза) содержал 3% морфотипов, типичных для субтропического и тропического климата (растения С4-типа фотосинтеза) (CRO) (рис. 3.8).

Геохимический анализ

Поскольку, как было установлено нашими ранними исследованиями (Khokhlova et al., 2018), пачка III отложений Карахача включала разновременные слои пролювиально-аллювиального генезиса, а в некоторых из них обнаружены признаки педогенеза, мы использовали при их изучении интегральную геохимическую характеристику, отражающую базовые минеральные составляющие и степень выветривания материала того или иного слоя. На рис. 4 по горизонтальной оси отложен $\log [(CaO+Na_2O)/K_2O]$, по сути, отношение карбонатов плюс плагиоклазы к калиевым полевым шпатам. По вертикальной оси — $\log (SiO_2/Al_2O_3)$, фактически, отношение кварца к полевым шпатам и глинистым минералам [Garrels and Mackenzie (1971)].

Изученные образцы распались на три группы (см. рис. 4). Слева самая нижняя группа (назвали эту группу ГХГ1), располагается между величинами от 0.30 до 0.40 по горизонтальной оси

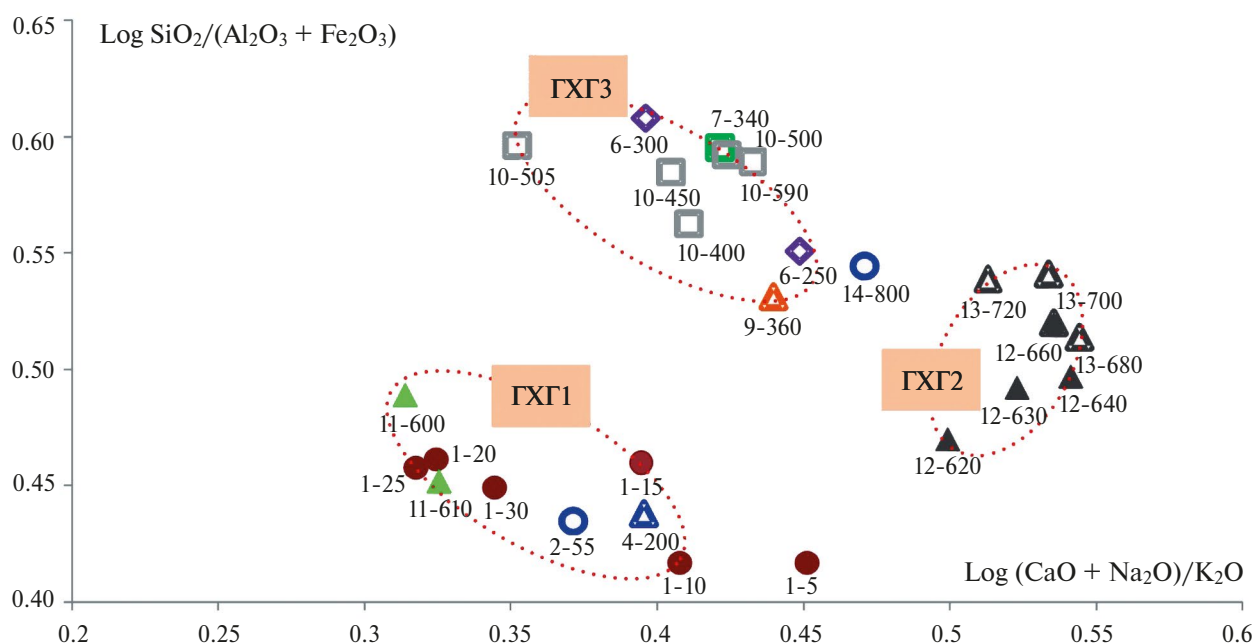


Рис. 4. Группы образцов из нижней пачки разреза Карахач, образованные на основании отношений основных геохимических элементов в них. Цифрами у точек обозначены: слева — номер слоя, через дефис — нижняя глубина отбора образца. На рыжем фоне — названия полученных групп, ГХГ1–ГХГ3 (расшифровку названий групп см. в тексте статьи).

и от 0.40 до 0.50 по вертикальной оси, куда входят слои с наиболее хорошо выраженными по другим свойствам признаками педогенеза (1 и 11), а также единичные образцы из слоев 2 и 4, характеризуется самым высоким содержанием полевых шпатов и глинистых минералов и самой высокой степенью выветрелости исходных вулканогенных пород, что геохимически вполне отвечает педогенной природе этих слоев. Правее и чуть выше, между величинами 0.5–0.55 по горизонтальной оси и 0.45–0.55 – по вертикальной, расположились образцы из слоев 12 и 13, обогащенные слабыветрелыми Са-содержащими плагиоклазами – это ГХГ2. И наконец, третья группа (ГХГ3), куда вошли образцы из слоев 6, 7, 9, 10 и 14, расположенные между величинами 0.35–0.45 по горизонтальной оси и 0.55–0.60 – по вертикальной. Это преимущественно пепловые слои с наибольшим содержанием кварца и полевых шпатов и очень слабой степени выветрелости. Для целей настоящей статьи важно, что в образцы из слоев, в которых мы определили наличие педогенных признаков, четко обособляются по полученным группам. Напомним, что на основании выявленных признаков мы

попытались представить, каким именно почвам они могли бы соответствовать и отнесли их согласно WRB-22 к разным реферативным группам: Regosols – слои 12 и 13 (группа ГХГ2), Cambisols – 1, 11 (группа ГХГ1), Andosols – 7, 9, линзы в слое 10 (группа ГХГ3) (Khokhlova et al., 2018). Таким образом, геохимически подтверждается правильность проведенного ранее классифицирования.

Магнитная восприимчивость, изотопный состав углерода и общее содержание С и N

В разрезе Карахач наибольшие значения магнитной восприимчивости отмечены в “чистых” пепловых слоях и прослоях: 330–350 см (слой 7), 450–500 см, 505–560 и 562–590 см (прослои в пределах слоя 10). Напротив, самые низкие значения были обнаружены в бурых суглинках 1 (0–25(30) см) и 11 (590–610 см) и коричневых линзах внутри слоя 10 (500–505 и 560–562 см). Слои 12, 13 и 14 характеризовались промежуточными значениями магнитной восприимчивости (рис. 5).

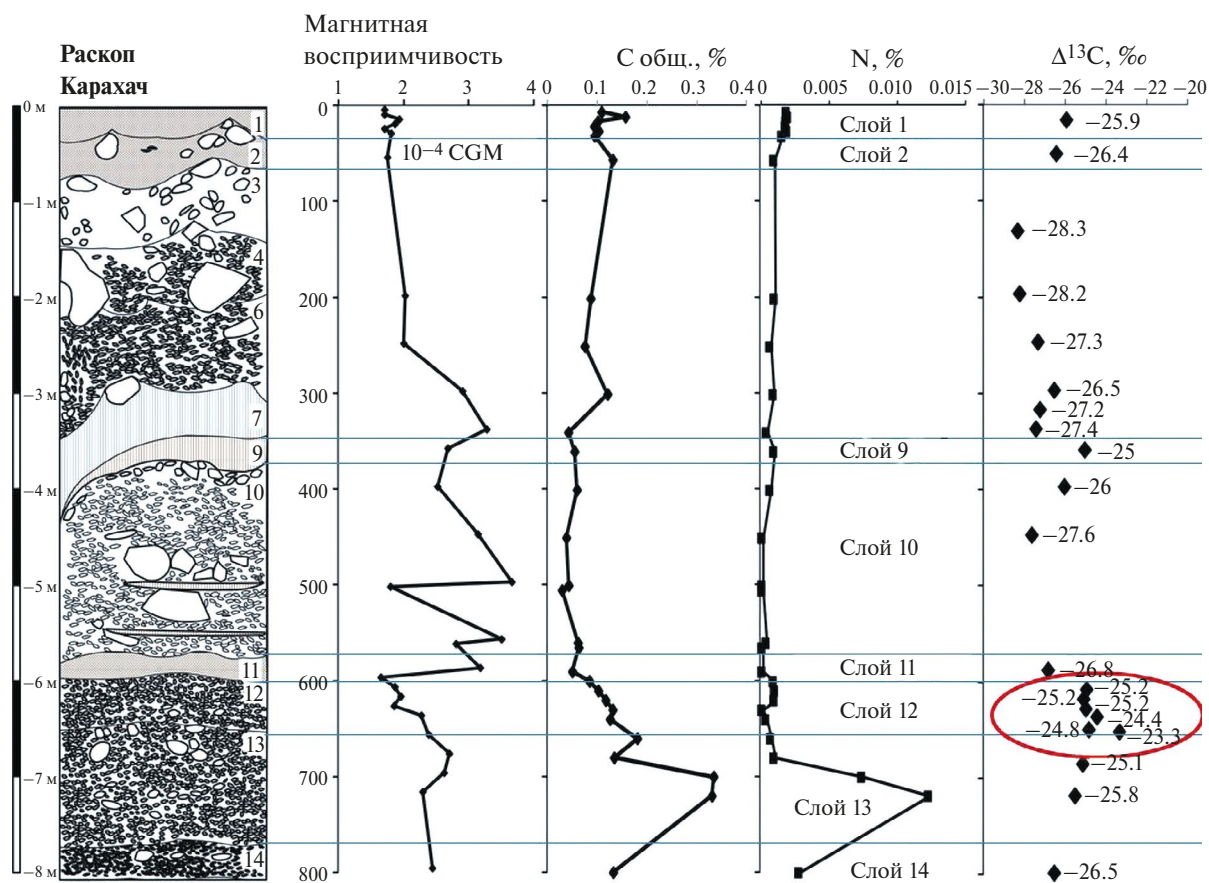


Рис. 5. Раскоп Карахач. На схеме раскопа цифрами обозначены выделенные слои. На графиках показаны данные: магнитной восприимчивости, 10^{-4} CGM; содержание общего С, % и общего N, %; значения $\Delta^{13}\text{C}$, ‰. Красным овалом выделены значения изотопного состава углерода, показывающие, что органическое вещество исходной палеопочвы могло быть обогащено компонентами, происходящими от растений C4.

Содержание N было незначительным (близким к нулю) практически во всех слоях Карахачского разреза, за исключением низких количеств N (0.001–0.002%) в слоях 1, 11 и 12 (которые также содержали 0.1–0.15% C (см. рис. 5) и более высокие концентрации N (0.01%) в слое 13 (на глубинах 680–700 и 700–720 см) и слое 14 (780–800 см) (что совпало с высоким содержанием C 0.33–0.34%). В остальных педогенных слоях, т.е. слое 9 и линзах внутри слоя 10, содержание C очень низкое (0.03–0.05%), а содержание N близко к нулю.

Каменистые слои 4–10 разреза Карахач характеризовались самыми низкими значениями $\Delta^{13}\text{C}$ от -28.3 до -26.5‰ , тогда как слои 1, 9 и 11, имеющие признаки педогенеза, имели более высокие (менее отрицательные) значения $\Delta^{13}\text{C}$ от -25.9 до -25.0‰ (см. рис. 5). Наиболее высокие значения $\Delta^{13}\text{C}$ от -23.3 до -24.8‰ отмечены в слое 12. Слой 13 с $\Delta^{13}\text{C}$ от -25.8 до -25.1‰ подобен педогенным слоям.

ОБСУЖДЕНИЕ

Археологический памятник Карахач

Наши результаты независимо подтверждают педогенное происхождение выявленных ранее слоев с пониженными значениями магнитной восприимчивости, повышенными содержаниями C и N и повышенными значениями $\Delta^{13}\text{C}$ по сравнению с таковыми в каменистых слоях и, главным образом, нахождением многочисленных фитоцитов хорошей сохранности. Требуют пояснения пониженные показатели магнитной восприимчивости в слоях с педогенными признаками по сравнению с таковыми, в которых педогенные признаки отсутствуют, но зато они обогащены продуктами вулканической деятельности. Вероятным объяснением такого специфического поведения магнитной восприимчивости является предположение о том, что магнитный сигнал в вулканических почвах находится под сильным влиянием первичных вулканогенных магнитных минералов, что перекрывает эффект педогенного новообразования магнитных компонентов (Khokhlova et al., 2018). Снижение магнитной восприимчивости в горизонтах вулканических почв было подтверждено данными по ряду опорных разрезов в катенах современных почв, сформированных на вулканических отложениях (Rivas Ortiz et al., 2012), а также сравнительным изучением магнитных свойств вулканических и лессовых палеопочв сходного педогенеза (Rivas et al., 2006). Предыдущие исследования ашельских стоянок в пределах Лорийского плато показали, что значения магнитной восприимчивости в слоях, содержащих большое количество неветрелого

вулканического материала, могут увеличиваться в десятки раз по сравнению с “педогенными” слоями (Столпникова, Ковалева, 2014; Khokhlova et al., 2014). Также поясним, почему мы измеряли содержание общего C вместе с N. Установлено, что углерод может присутствовать в вулканических породах в виде абсорбированного “жидкого CO_2 ” (Джрбашян и др., 2015; Меликсетян, 2012), имеющего также вулканическое происхождение. Для разделения вулканического и органического углерода мы анализировали содержание как C, так и N. Поскольку оба элемента являются биофильными, то к педогенным относили те слои, где повышались содержания обоих элементов.

Высокая степень сохранности фитоцитов может быть объяснена быстрым погребением верхних горизонтов этих палеопочв мощными вулканическими отложениями, что способствовало консервации частиц аморфного кремнезема. Согласно работе (Go'mez et al., 2000), большие количества нестабильных богатых кремнием компонентов, особенно вулканического стекла, вероятно, создают высокие концентрации кремния в почвенном растворе, обеспечивая более интенсивное поглощение кремния растениями и защищая уже присутствующие фитоциты от растворения.

Почти все пробы содержали сходные фитоцитные комплексы, характеризующие растения, принадлежащие к разным экологическим нишам — сухим степям, сырым лугам и лесам (хвойным и лиственным) (рис. 6). Подобный состав типичен для понижений рельефа, куда с возвышенностей за счет поверхностной эрозии сносились и где аккумулировались мелкоземистые частицы. Все палеопочвы, кроме самой древней, развивались под сообществами растений с фотосинтезом C3-типа. Наиболее древняя палеопочва (слой 12) формировалась в период, когда в пределах исследуемого района присутствовали в небольшом количестве и C4-растения.

Изотопный состав углерода исследованных слоев подтвердил результаты фитоцитного анализа, т.е. в слоях 1 и 11 обнаружены значения $\Delta^{13}\text{C}$ -25 — -26‰ , характерные для C3-типа фотосинтеза, в то время как в нижних слоях максимальные значения $\Delta^{13}\text{C}$ были от -23 до -24‰ . Это свидетельствует о том, что органическое вещество исходной палеопочвы могло быть обогащено компонентами, происходящими от растений C4.

Сравнительный анализ памятников Карахач и Дманиси

Поскольку оба памятника расположены в сходных ландшафтно-геоморфологических обстановках, практически одного возраста, стал возможным провести сравнительный анализ полученных результатов.

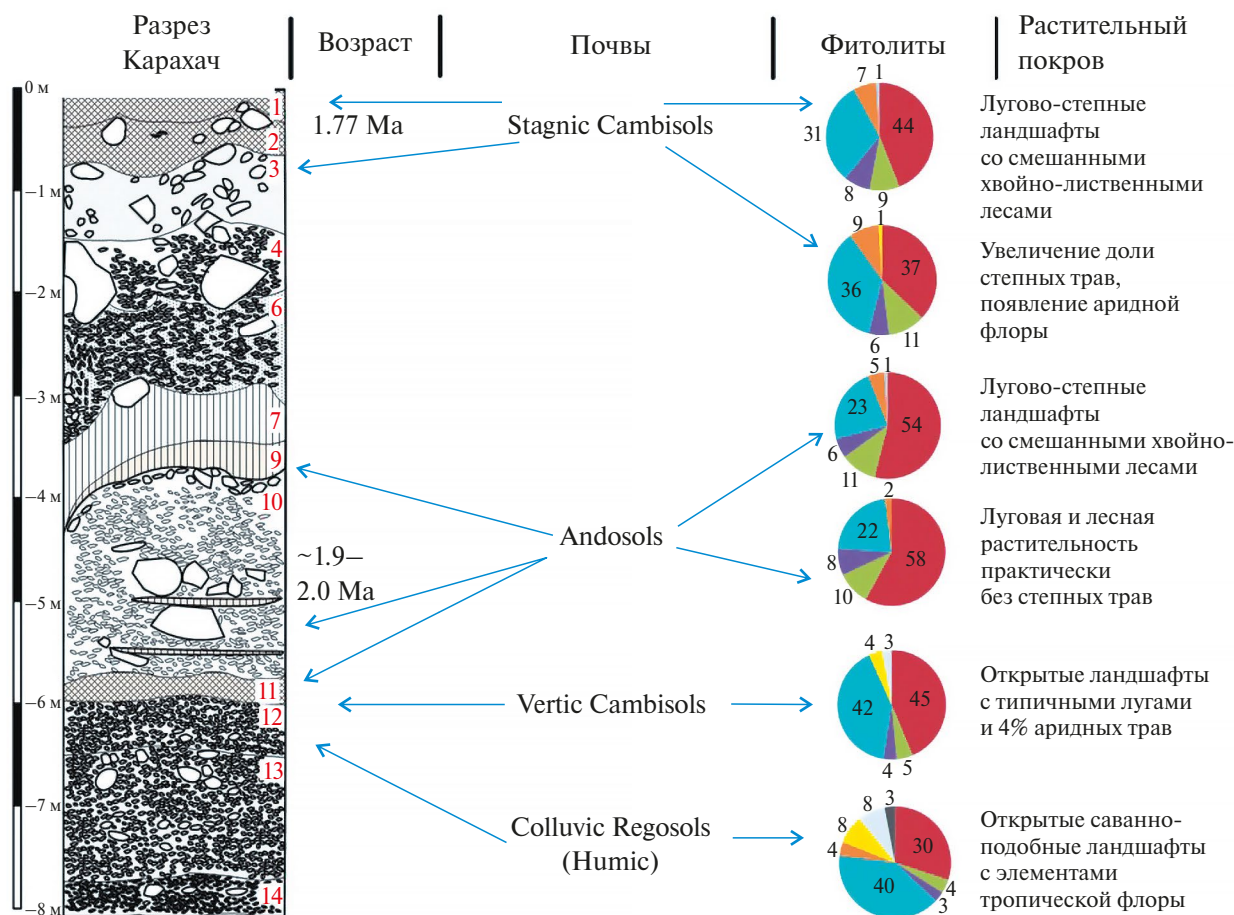


Рис. 6. Палеоландшафтная реконструкция на основе состава фитолитных комплексов: А – двудольные и ряд однодольных трав (ELO_ENT), В – хвойные (BLO_RES+BLO_VEL), С – лесные злаки и осоки (ACU_BUL_L), D – луговые злаки (ACU_BUL_S+BIL+ELO_SIN+POL), Е – степные злаки (RON_CON+RON_TRZ), F – аридные травы (BLO_POL+ELO_DET), G – тростник (BUL_FLA), H – злаки тропиков (CRO). Цифрами на диаграммах показано процентное содержание фитолитных групп.

Аналогично полученных нами данных, комплексы фитолитов стоянки Дманиси (Messenger et al., 2010a, b, 2011) показывают преобладание форм, характерных для двудольных и луговых трав, присутствуют фитолиты сухостепной и лесной флоры. Большинство фитолитов, обнаруженных в Дманиси, также принадлежало растениям C3-типа фотосинтеза, и только самый древний слой содержал небольшую долю фитолитов растений типа C4. Эта находка согласуется с палинологическими данными того же периода в соседних районах – Ширакской и Верхнеахурянской котловинах Северной Армении (Тесаков и др., 2020; Trifonov et al., 2020). Пыльцевые спектры этих котловин содержат до 70% пыльцы трав. Деревья представлены пылью *Pinus*, *Picea*, *Taxodium*, *Tsuga canadensis* и единичными зернами *Castanea*, *Pterocarya* и *Betula*. Злаки представлены в основном пылью *Chenopodiaceae*, *Asteraceae* и *Ephedra* (Trifonov et al., 2020). Абсолютное преобладание фитолитов злаков C3 класса; лесных пород, включая хвойные, определен также и в среднеплей-

стоценовых (ашельских) стояночных отложениях Испании (Pinilla et al., 2007).

Доля фитолитов тростника в средней части дманисского культурного слоя достигала 10%, тогда как в Карахаче встречались лишь единичные экземпляры. Эти различия, очевидно, связаны со спецификой природных и антропогенных архивов. Можно предположить, что некоторые растения были преднамеренно принесены гоминидами на стоянку Дманиси, тогда как комплексы фитолитов Карахача отражают слабо нарушенный или естественный растительный покров территории периода миграции древних гоминидов.

Сравнительный анализ памятников Карахач и Куртан IV

Комплексы фитолитов из верхней части пачки III Карахачского разреза аналогичны таковым из красноцветного педоседимента стоянки Куртан IV с Лорийского плато, при этом пемзовые

пески над этим педоседиментом имеют U-Pb даты SIMS 1.495 ± 0.026 и 1.496 ± 0.021 млн л. н. (Presnyakov et al., 2012) и $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ дата 1.49 ± 0.01 млн л. н. Комплекс фитоцитов из педоседимента Куртан IV характеризуется разнообразным составом, включая виды хвойных, полыни, луговых и засушливых трав и флоры водно-болотных угодий, таких как *Phragmites* и *Scirpus* spp. (Ревунова и др., 2021).

Реконструкция климата

Ранее, на основании комплексного палеопедологического анализа (Khokhlova et al., 2018) палеоклимат изучаемой территории в раннеашельское время ~1.9 млн л. определялся как контрастный в дождевом режиме в течение года с высоким диапазоном температур. Анализ фитоцитов со стоянок Карахач и Дманиси позволяет предположить, что палеоклимат раннеашельского времени был сравним с современным средиземноморским климатом с резкими колебаниями месячных осадков и температуры (Blain et al., 2014). Лето было жарким и сухим, а зима прохладной и влажной (см. рис. 6). К концу этого периода, ~1.75 млн л. н., климат стал более влажным. Результаты фитоцитного анализа свидетельствуют о постепенном похолодании климата за изучаемый период, о чем свидетельствовало полное исчезновение форм, характерных для растений C4 типа фотосинтеза, и значительное увеличение доли лесных растений.

ВЫВОДЫ

Проведенный комплексный анализ независимо подтвердил, что ряд слоев памятника Карахач, содержащих каменные индустрии раннеашельского времени, имеют педогенные признаки, т.е., они представляют собой древние педоседименты, перекрытые пепловыми наносами. Полученный вывод резко выделяет данный объект из расположенных в регионе археологических памятников того же времени, поскольку нигде более нижнеплейстоценовые палеопочвы либо педоседименты не обнаружены.

Данные по фитоцитам стоянки Карахач показывают, что в исследованном районе Лорийского нагорья между 1.9 и 1.75 млн л. н. в основном преобладала лугово-степная зона с участками лиственного и хвойного редколесья.

Результаты позволили реконструировать региональный палеоклимат для периода 1.9–1.75 млн л. н. Для него были характерны резкие колебания осадков и температуры, жаркое и сухое лето, холодная и влажная зима. К концу исследуемого периода, ~1.75 млн л. н., климат

стал более влажным. Изменения в составе фитоцитных комплексов показали постепенное похолодание климата, основанное на исчезновении морфотипов фитоцитов C4-растений и значительном увеличении доли лесных растений.

Таким образом, миграция древних гоминид из Африки в новые регионы началась в наиболее благоприятную, т.е. самую теплую для данного региона в плейстоцене климатическую фазу, за которой последовало похолодание.

Комплексы фитоцитов из изученных педоседиментов представляют собой естественные компоненты почвенных архивов и отражают древние ландшафтные условия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по материалам исследований по теме Государственного задания ИГ РАН № FMWS-2024-0010 (А.А. Гольева). Геохимические, общие химические и изотопные анализы проводились в рамках темы Государственной научной программы 12204500036-9 (О.С. Хохлова).

FUNDING

The research was conducted as part of the State Assignment of the IG RAS no. FMWS-2024-0010 (A.A. Golyeva). Geochemical, general chemical and isotopic analyses were carried out within the framework of the State Scientific Program 12204500036-9 (O.S. Khokhlova).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асланян С.А., Беляева Е.В., Колпаков Е.М., Любин В.П., Саркисян Г.М., Суворов А.В. Работы армяно-российской археологической экспедиции в 2003–2006 гг. // Записки ИИМК РАН. 2007. № 2. С. 142–154.
- Багдасарян А.Б., Габриелян Г.К. Почвы и растительный покров: в кн. “Геология Армянской ССР”. Ереван, 1962. С. 48–53.
- Беляева Е.В. Уникальное древнекаменное орудие из Северной Армении // Природа. 2009. № 4. С. 63–66.
- Беляева Е.В. Развитие ашельской бифасной традиции на Кавказе // Тр. III (XIX) Всерос. Археологич. съезда. СПб.–М.–Великий Новгород, 2011. Т. 1. С. 24–25.
- Беляева Е.В. Ашельские памятники Закавказского нагорья. СПб.: Петербургское Востоковедение, 2022. 276 с.
- Беляева Е.В., Любин В.П. Первые данные о ранних этапах ашеля на Кавказе // КСИА. 2012. Вып. 227. С. 28–36.
- Беляева Е.В., Любин В.П. Ашельские памятники Северной Армении // Фундаментальные проблемы

- археологии, антропологии и этнографии Евразии. К 70-летию акад. А.П. Деревянко. Новосибирск, 2013. С. 37–52.
- Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.—Сыктывкар—Элиста, 2001. 200 с.
- Джрбашян Р.Т., Меликсетян Х.Б., Гукасян Ю.Г. и др. Плинианское извержение вулкана Иринд (Арагацкая вулканическая область, Армения) // Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2015. Т. 68. № 1. С. 3–21.
- Меликсетян Х.Б. Геохимия вулканических серий Арагацкой области // Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2012. № 65 (3). С. 34–59.
- Ревунова А.В., Хохлова О.С., Русаков А.В. Раннеплейстоценовые педоседименты Лорийской котловины (Армения): генезис, свойства и их палеогеографическая интерпретация // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1167–1181.
- Стопникова Е.М., Ковалева Н.О. Характеристика палеопочв и педоседиментов стоянок первобытного человека в долине р. Дзорагет (Армения) // Поволжский экологич. журн. 2014. № 4. С. 628–642.
- Память почв: Почвы как память о биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействиях / ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 1–687.
- Тесаков А.С., Трифонов В.Г., Симакова А.Н., Соколов С.А., Трихунков Я.И., Челик Х. и др. Геодинамические и биоценоотические условия ранне-го-среднего плейстоцена в контексте заселения древним человеком Крымско-Кавказско-Аравийского региона // Раннепалеолитические памятники и природная среда Кавказа и сопредельных территорий в раннем-среднем плейстоцене. 2020. С. 7–24.
- Трифонов В.Г., Любин В.П., Беляева Е.В., Трихунков Я.И., Симакова А.Н., Тесаков А.С., Веселовский Р.В., Пресняков С.Л., Бачманов Д.М., Иванова Т.П., Ожерельев Д.В. Геодинамические и палеогеографические условия расселения древнейшего человека в Евразии (Аравийско-Кавказский регион) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: матер. 46-го Тектонического совещания. М.: Изд-во ГЕОС, 2014. С. 240–246.
- Трифонов В.Г., Шалаева Е.А., Саакян Л.Х., Бачманов Д.М., Лебедев В.А., Трихунков Я.И. и др. Четвертичная тектоника новейших впадин Северо-Западной Армении // Геотектоника. 2017. № 5. С. 42–64.
- Blain H.A., Agustí J., Lordkipanidze D., Rook L., Delfino M. Paleoclimatic and paleoenvironmental context of the Early Pleistocene hominins from Dmanisi (Georgia, Lesser Caucasus) inferred from the herpetofaunal assemblage // Quat. Sci. Rev. 2014. Vol. 105. P. 136–150. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.004>
- Cordova C.E. C3 Poaceae and Restionaceae phytoliths as potential proxies for reconstructing winter rainfall in South Africa // Quat. Int. 2013. Vol. 287. P. 121–140. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.022>
- Cordova C., Avery G. African savanna elephants and their vegetation associations in the Cape Region, South Africa: Opal phytoliths from dental calculus on prehistoric, historic and reserve elephants // Quat. Int. 2017. Vol. 443. P. 189–211. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.12.042>
- Fayvush G., Tamanyan K., Kalashyan M., Vitek E. “Biodiversity Hotspots” in Armenia // Annalen Des Naturhistorischen Museums in Wien / Ann. Naturhist. Mus. Wien, B. 2013. Vol. 115. P. 11–20. <http://www.jstor.org/stable/43922106>
- Garrels R.M., Mackenzi F.T. Evolution of Sedimentary Rocks. NY: W.W. Norton & Company, Inc., 1971. 397 p.
- Golyeva A. Various phytolith types as bearers of different kinds of ecological information. In: Plants, People and Places. Studies in Phytolith Analysis / M. Madella, D. Zuro (Eds.). Oxford: Oxbow books, 2007. P. 196–201.
- Go'mez E., Sedov S.N., Oleschko K., Shoba S.A. Phytoliths in surface and buried Andosols of central Mexico: morphological variety, rates of accumulation and weathering / L. Vrydaghs, A. Degraeve (Eds.). Man and the (Palaeo)environment. The Phytolith Evidence. 3rd Int. Meeting on Phytolith Research, Brussels, Belgium. 2000. P. 17.
- International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0 // Annals of Botany. 2019. Vol. 124 (2). P. 189–199. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>
- Khokhlova O.S., Stolpnikova E.M., Kovaleva N.O. Genesis of the Early Pleistocene paleosols of Armenia evidenced by set of methods // Paleopedological record of postglacial soil and landscape evolution. In: XIIIth International Symposium and Field Workshop on Paleopedology (ISFWP), 1–6 September 2014. Torun, Poland. 2014. P. 44.
- Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Kuznetsova A.M., Stolpnikova E.M., Kovaleva N.O., Lyubin V.P., Belyaeva E.V. Carbonate features in the uppermost layers of Quaternary deposits, Northern Armenia, and their significance for paleoenvironmental reconstruction // Quat. Int. 2016. Vol. 418. P. 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.035>
- Khokhlova O.S., Sedov S.N., Khokhlov A.A., Belyaeva E.V., Lyubin V.P. Indications of pedogenesis in Lower Pleistocene tool-bearing sediments in Northern Armenia and regional paleoclimatic reconstruction // Quat. Int. 2018. Vol. 469. P. 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.040>
- Lapsansky E.R., Milroy A.M., Andales M.J., Vivanco J.M. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity // Current Opinion in Biotechnology. 2016. Vol. 38. P. 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.014>

- Messenger E., Lordkipanidze D., Delhon C., Ferring C.R.* Palaeoecological implications of the Lower Pleistocene phytolith record from the Dmanisi Site (Georgia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010a. Vol. 288 (1–4). P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.01.020>
- Messenger E., Lordkipanidze D., Kvavadze E., Ferring C.R., Voinchet P.* Palaeoenvironmental reconstruction of Dmanisi site (Georgia) based on palaeobotanical data // *Quat. Int.* 2010b. Vol. 223. P. 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.016>
- Messenger E., Lebreton V., Marquer L., Russo-Ermolli E., Orain R., Renault-Miskovsky J., et al.* Palaeoenvironments of early hominins in temperate and Mediterranean Eurasia: new palaeobotanical data from Palaeolithic key-sites and synchronous natural sequences // *Quat. Sci. Rev.* 2011. Vol. 30 (11–12). P. 1439–1447. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.09.008>
- Nikoghosyan I., Meliksetian K., van Bergen M., Mason P., Jrbashyan R., Navasardyan G., et al.* Characteristics of mantle sources in Jurassic to Quaternary magmatic history of the territory of Armenia, as a guide to diverse geodynamic settings / In *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2014. P. 2262.
- Pinilla A., Pérez-González A., Santonja M.* Phytoliths from the Pleistocene site of Ambrona (Soria, Spain) / M. Madella (Ed.). *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis*. Oxbow books. 2007. P. 165–172.
- Presnyakov S.L., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Rodionov N.V., Antonov A.V., Saltykova A.K., Berezhnaya N.G., Sergeev S.A.* Age of the earliest Paleolithic sites in the northern part of the Armenian Highland by SHRIMP-II U-Pb dating of zircons from volcanic ashes // *Gondwana Res.* 2012. Vol. 21. P. 928–938. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.11.009> Get rights and content
- Rivas J., Ortega B., Sedov S., Solleiro E., Sycheva S.* Rock magnetism and pedogenetic processes in Luvisol profiles: examples from Central Russia and Central Mexico // *Quat. Int.* 2006. Vol. 156/157. P. 212–223.
- Rivas Ortiz J.F., Ortega Guerrero B., Solleiro Rebollo E., Sedov S., Sanchez Perez S.* Mineralogía magnetica de suelos volcanicos en una toposecuencia del valle de Teotihuacan // *Bol. la Soc. Geol. Mex.* 2012. Vol. 64 (1). P. 1–20.
- Schindler M., Hochella Jr. M.F.* Soil memory in mineral surface coatings: Environmental processes recorded at the nanoscale // *Geology*. 2015. Vol. 43 (5). P. 415–418. <https://doi.org/10.1130/G36577.1>
- Strömberg C.A.* Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. Vol. 207 (3–4). P. 239–275. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2003.09.028>
- Strömberg C.A., McInerney F.A.* The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: assemblage analysis of fossil phytoliths // *Paleobiology*. 2011. Vol. 37 (1). P. 50–71. <https://doi.org/10.1666/09067.1>
- Tesakov A.S., Simakova A.N., Frolov P.D., Sytchevskaya E.K., Syromyatnikova E.V., Foronova I.V., Shalaeva E.A., Trifonov V.G.* Early-Middle Pleistocene environmental and biotic transition in north-western Armenia, southern Caucasus // *Palaeontologia Electronica*. 2019. Vol. 22 (2). P. 2–39. <https://doi.org/10.26879/916>
- Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H., Tesakov A.S., Shalaeva E.A., Frolov P.D., et al.* The Upper Pliocene–Quaternary geological history of the Shirak Basin (NE Turkey and NW Armenia) and estimation of the Quaternary uplift of Lesser Caucasus // *Quat. Int.* 2020. Vol. 546. P. 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.004>
- Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Simakova A.N., Veselovsky R.V., Latyshev A.V., Presnyakov S.L., Ivanova T.P., Ozhereliev D.V., Bachmanov D.M., Lyapunova S.M.* Stratigraphic and tectonic settings of early Paleolithic of north-west Armenia // *Quat. Int.* 2015. Vol. 420. P. 178–198. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>
- Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., et al.* Stratigraphic and tectonic settings of early Paleolithic of north-west Armenia // *Quat. Int.* 2016. Vol. 420. P. 178–198. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>
- Zhang H., Yuan N., Ma Z., Huang Y.* Understanding the Soil Temperature Variability at Different Depths: Effects of Surface Air Temperature, Snow Cover, and the Soil Memory // *Advances in Atmospheric Sci.* 2021. Vol. 38 (3). P. 493–503. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-0074-y>

Phytoliths Tell the Natural History of Northern Armenia During Migration of Homo Erectus

A. A. Golyeva^{a,*} and O. S. Khokhlova^b

^a*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Institute of Physico-Chemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia*

*e-mail: golyevaaa@yandex.ru

Phytolith analysis was carried out on pedosediments of the second half of the Lower Pleistocene and the beginning of the Middle Pleistocene containing early Acheulean stone tools of ancient hominids (*Homo erectus*) at the Karakhach archaeological site in northern Armenia. The aim of this study was to determine the climate and landscape features that determined the formation and functioning of pedosediments of the Karakhach archaeological site during the colonization of Eurasia by hominid migrants from Africa, mainly based on the analysis of phytolith complexes. The work was carried out in a former sand quarry with volcanic origin of Karakhach sands (N 41°00.491', E 44°00.154', 2274 m above sea level), cutting through the foot of the slope of the Javakheti volcanic ridge. Samples for phytolith analysis were taken from layers with potential signs of paleopedogenesis (1, 2, 9, 10, 11, 12). The phytolith assemblages from these pedosediments were similar and consisted of species from different habitats such as dry steppes, wet meadows and coniferous and deciduous forests. Such assemblages are generally typical for topographic depressions that accumulate various fine particles brought from higher elevations. The majority of pedosediments at the study site developed under communities of C3 plants, with the sole exception of the oldest pedosediment (layer 12), which was formed under vegetation with a minute share of C4 plants. The results allowed reconstructing regional paleoclimate for the 1.9–1.75 Ma ago period. It had sharp fluctuations in monthly precipitation and temperature, with hot and very dry summers and cold and wet winters. Towards the end of the study period, ~1.75 Ma ago, the climate became more humid. The data of phytolith analysis showed a gradual cooling of the climate, based on the disappearance of phytoliths of C4 plants and a significant increase in the proportion of forest plants.

Keywords: Middle Pleistocene, Acheulian, pedosediments, phytolith assemblages, pedosediments-archives, paleolandscape reconstructions

REFERENCES

- Aslanian S.A., Belyaeva E.V., Kolpakov E.M., Lyubin V.P., Sarkisyan G.M., Suvorov A.B. The works of Armenian-Russian archaeological expedition in 2003–2006. *Zapis. IIMK RAN*, 2007, no. 2, pp. 142–154. (In Russ.).
- Bagdasaryan A.B., Gabrielyan G.K. Soils and vegetation cover. In *Geologiya Armyanskoi SSR* [Geology of the Armenian Soviet Socialist Republic]. Yerevan, 1962, pp. 48–53. (In Russ.).
- Belyaeva E.V. A unique ancient lithic tool from Armenia. *Priroda*, 2009, no. 4, pp. 63–66. (In Russ.).
- Belyaeva E.V. Development of the Acheulian tradition of bifacial tools in the Caucasus. In *Trudy III (XIX) Vserossiiskogo arkheologicheskogo s'ezda. T. 1* [Proceedings of the 3rd (19th) All-Russian Archaeological Conf. Vol. 1]. St. Petersburg, Moscow, Veliky Novgorod, 2011, pp. 24–25. (In Russ.).
- Belyaeva E.V. *Ashel'skie pamyatniki Zakavkazskogo nagor'ya* [Acheulian Sites of the Transcaucasian Highlands]. St. Peterburg: Peterburgskoe Vostokovedenie, 2022. 276 p.
- Belyaeva E.V., Lyubin V.P. The first data on the Early Acheulian stages in the Caucasus. In *KSIA. Вып. 227* [Brief Communications of the Institute of Archaeology. Vol. 227], 2012, pp. 28–36. (In Russ.).
- Belyaeva E.V., Lyubin V.P. Acheulian sites of Northern Armenia. In *Fundamental'nye problemy arkheologii, antropologii i etnografii Evrazii. K 70-letiyu akad. A.P. Derevyanko* [Basic Problems of Archaeology, Anthropology and Ethnography of Eurasia. To the 70th Anniversary of Academician A.P. Dervyanko]. Novosibirsk, 2013, pp. 37–52. (In Russ.).
- Blain H.A., Agustí J., Lordkipanidze D., Rook L., Delfino M. Paleoclimatic and paleoenvironmental context of the Early Pleistocene hominins from Dmanisi (Georgia, Lesser Caucasus) inferred from the herpetofaunal assemblage. *Quat. Sci. Rev.*, 2014, no. 105, pp. 136–150.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.004>
- Cordova C.E. C3 Poaceae and Restionaceae phytoliths as potential proxies for reconstructing winter rainfall in South Africa. *Quat. Int.*, 2013, no. 287, pp. 121–140.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.022>
- Cordova C., Avery G. African savanna elephants and their vegetation associations in the Cape Region, South Africa: Opal phytoliths from dental calculus on prehistoric, historic and reserve elephants. *Quat. Int.*, 2017, no. 443, pp. 189–211.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.12.042>

- Fayvush G., Tamanyan K., Kalashyan M., Vitek E. "Biodiversity Hotspots" in Armenia. *Ann. Naturhist. Mus. Wien, B*, 2013, no. 115, pp. 11–20.
<http://www.jstor.org/stable/43922106>
- Garrels R.M., Mackenzie F.T. *Evolution of Sedimentary Rocks*. W.W. Norton & Company, Inc., New York, 1971.
- Golyeva A.A. *Fitolity i ikh informatsionnaya rol' v izuchenii prirodnikh i arkheologicheskikh ob'ektov* [Phytoliths and Their Informational Role in the Study of Natural and Archaeological Sites]. Moscow, Syktyvkar, Elista, 2001. 200 p.
- Golyeva A. Various phytolith types as bearers of different kinds of ecological information. In *Plants, People and Places. Studies in Phytolith Analysis*. Madella M., Zurrro D., Eds. Oxford: Oxbow books, 2007, pp. 196–201.
- Gomez E., Sedov S.N., Oleschko K., Shoba S.A. Phytoliths in surface and buried Andosols of central Mexico: morphological variety, rates of accumulation and weathering. In *Man and the (Palaeo)environment. The Phytolith Evidence*. 3rd International Meeting on Phytolith Research. Vrydaghs L., Degraeve A., Eds. Brussels, 2000, p. 17.
- International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Ann. Bot.*, 2019, vol. 124, no. 2, pp. 189–199.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>
- Jrbashyan R.T., Meliksetian Kh. B., Ghukasyan Y.G., Gevorgyan H.P., Savov I., Karapetyan S.H., Navasardyan G.Kh., Manucharyan D.A. The Plinian eruption of Irind volcano (Aragats volcanic region, Armenia). *Izv. NAN RA. Nauki Zemle*, 2015, no. 68, pp. 3–21. (In Russ.).
- Khokhlova O.S., Stolpnikova E.M., Kovaleva N.O. Genesis of the Early Pleistocene paleosols of Armenia evidenced by set of methods. Paleopedological record of postglacial soil and landscape evolution. In *13th International Symposium and Field Workshop on Paleopedology (ISFWP), 1–6 September 2014*. Torun, 2014, p. 44.
- Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Kuznetsova A.M., Stolpnikova E.M., Kovaleva N.O., Lyubin V.P., Belyaeva E.V. Carbonate features in the uppermost layers of Quaternary deposits, Northern Armenia, and their significance for paleoenvironmental reconstruction. *Quat. Int.*, 2016, no. 418, pp. 94–104.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.035>
- Khokhlova O.S., Sedov S.N., Khokhlov A.A., Belyaeva E.V., Lyubin V.P. Indications of pedogenesis in Lower Pleistocene tool-bearing sediments in Northern Armenia and regional paleoclimatic reconstruction. *Quat. Int.*, 2018, no. 469, pp. 68–84.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.040>
- Lapsansky E.R., Milroy A.M., Andales M.J., Vivanco J.M. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2016, no. 38, pp. 137–142.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.014>
- Meliksetian Kh.B. Geochemistry of volcanic series of Aragats province. *Izv. NAN RA. Nauki Zemle*, 2012, no. 65, pp. 34–59. (In Russ.).
- Messenger E., Lordkipanidze D., Delhon C., Ferring C. R. Palaeoecological implications of the Lower Pleistocene phytolith record from the Dmanisi Site (Georgia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2010a, vol. 288, pp. 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.01.020>
- Messenger E., Lordkipanidze D., Kvavadze E., Ferring C. R., Voinchet P. Palaeoenvironmental reconstruction of Dmanisi site (Georgia) based on palaeobotanical data. *Quat. Int.*, 2010b, vol. 223, pp. 20–27.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.016>
- Messenger E., Lebreton V., Marquer L., Russo-Ermolli E., Orain R., Renault-Miskovsky J., Arzarello M. Palaeoenvironments of early hominins in temperate and Mediterranean Eurasia: new palaeobotanical data from Palaeolithic key-sites and synchronous natural sequences. *Quat. Sci. Rev.*, 2011, vol. 30, pp. 1439–1447.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.09.008>
- Nikoghosyan I., Meliksetian K., van Bergen M., Mason P., Jrbashyan R., Navasardyan G., Karapetyan S. Characteristics of mantle sources in Jurassic to Quaternary magmatic history of the territory of Armenia, as a guide to diverse geodynamic settings. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2014, p. 2262.
- Pamyat' pochvy: Pochvy kak pamyat' o biosferno-geosferno-antroposfernykh vzaimodeistvii* [Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions]. Targulian V.O., Goryachkin S.V., Eds. Moscow: LKI Publ., 2008. 687 p.
- Pinilla A., Pérez-González A., Santonja M. Phytoliths from the Pleistocene site of Ambrona (Soria, Spain). In *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolith Analysis*. Madella M., Ed. Oxford: Oxbow books, 2007, pp. 165–172.
- Presnyakov S.L., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Rodionov N.V., Antonov A.V., Saltykova A.K., Berezhnaya N.G., Sergeev S.A. Age of the earliest Paleolithic sites in the northern part of the Armenian Highland by SHRIMP-II U-Pb dating of zircons from volcanic ashes. *Gondwana Res.*, 2012, vol. 21, pp. 928–938.
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.11.009>
- Revunova A.V., Khokhlova O.S., Rusakov A.V. Early Pleistocene Pedosediments of the Lori Basin (Armenia): Genesis, Properties, and Paleogeographic Interpretation. *Eurasian Soil Sci.*, 2021, vol. 54, no. 10, pp. 1449–1462.
<https://doi.org/10.1134/S1064229321100100>
- Rivas J., Ortega B., Sedov S., Solleiro E., Sycheva S. Rock magnetism and pedogenetic processes in Luvisol profiles: examples from Central Russia and Central Mexico. *Quat. Int.*, 2006, vol. 156–157, pp. 212–223.
- Rivas Ortiz J.F., Ortega Guerrero B., Solleiro Rebolledo E., Sedov S., Sanchez Perez S. Mineralogía magnética de suelos volcanicos en una toposecuencia del

- valle de Teotihuacan. *Bol. la Soc. Geol. Mex.*, 2012, vol. 64, no. 1, pp. 1–20.
- Schindler M., Hochella jr M.F. Soil memory in mineral surface coatings: Environmental processes recorded at the nanoscale. *Geology*, 2015, vol. 43, no. 5, pp. 415–418.
<https://doi.org/10.1130/G36577.1>
- Stolpnikova E.M., Kovaleva N.O. Description of paleosols and pedosediments within archaeological sites of the ancient humans in the Dzoraget River valley (Armenia). *Povolzh. Zh. Ekol.*, 2014, no. 4, pp. 402–414. (In Russ.).
- Strömberg C.A. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2004, vol. 207, no. 3–4, pp. 239–275.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2003.09.028>
- Strömberg C.A., McInerney F.A. The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: assemblage analysis of fossil phytoliths. *Paleobiol.*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 50–71.
<https://doi.org/10.1666/09067.1>
- Tesakov A.S., Simakova A.N., Frolov P.D., Sytchevskaya E.K., Syromyatnikova E.V., Foronova I.V., Shalaeva E.A., Trifonov V.G. Early-Middle Pleistocene environmental and biotic transition in north-western Armenia, southern Caucasus. *Palaeontol. Electronica*, 2019, vol. 22, no. 2, pp. 2–39.
<https://doi.org/10.26879/916>
- Tesakov A.S., Trifonov V.G., Simakova A.N., Sokolov S.A., Trikhunkov Ya. I., Chelik Kh., et al. Geodynamic and biocenotic conditions of the early-middle Pleistocene in the context of the settlement of the Crimean-Caucasus-Arabian region by ancient people. In *Rannepaleoliticheskie pamyatniki i prirodnyaya sreda Kavkaza i sopredel'nykh territorii v rannem-srednem pleistotsene* [Early Paleolithic Monuments and the Natural Environment of the Caucasus and Adjacent Territories in the Early-Middle Pleistocene]. 2020, pp. 7–24. (In Russ.).
- Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Trikhunkov Ya.I., Simakova A.N., Tesakov A.S., Veselovskii R.V., Presnyakov S.L., Bachmanov D.M., Ivanova T.P., Ozherel'ev D.V. (Geodynamic and paleogeographic conditions during the ancient hominin occupation of Eurasia (Arabian Peninsula – Caucasus region). In *Tektonika skladchatykh poyasov Evrazii: skhodstvo, razlichie, kharakternye cherty noveishego gorobrazovaniya, regional'nye obobshcheniya. Materialy 46-go Tektonicheskogo soveshchaniya* [Tectonics of the Eurasian Fold Belts: Similarities, Differences and Characteristic Features of the Youngest Orogenesis and Regional Generalizations. Proc. of the 46th Tectonic Conf.]. Moscow: GEOS Publ., 2014. 240–246. (In Russ.).
- Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Simakova A.N., Veselovsky R.V., Latyshev A.V., Presnyakov S.L., Ivanova T.P., Ozhereliev D.V., Bachmanov D.M., Lyapunova S.M. Stratigraphic and tectonic settings of early Paleolithic of north-west Armenia. *Quat. Int.*, 2015, vol. 420, pp. 178–198.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>
- Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Lebedev V.A., Trikhunkov Y.I., Tesakov A.S., et al. Stratigraphic and tectonic settings of early Paleolithic of north-west Armenia. *Quat. Int.*, 2016, vol. 420, pp. 178–198.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>
- Trifonov V.G., Shalaeva E.A., Saakyan L.Kh., Bachmanov D.M., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., et al. Quaternary tectonics of the newest depressions of Northwestern Armenia). *Geotektonika*, 2017, no. 5, pp. 42–64. (In Russ.).
- Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H., Tesakov A.S., Shalaeva E.A., Frolov P.D., et al. The Upper Pliocene–Quaternary geological history of the Shirak Basin (NE Turkey and NW Armenia) and estimation of the Quaternary uplift of Lesser Caucasus. *Quat. Int.*, 2020, vol. 546, pp. 229–244.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.004>
- Vallejo Gomez E., Sedov S.N., Oleschko K., Shoba S.A. Phytoliths in surface and buried Andosols of central Mexico: morphological variety, rates of accumulation and weathering. In *Man and the (Palaeo)environment. The Phytolith Evidence*. 3rd International Meeting on Phytolith Research. Vrydaghs L., Degraeve A., Eds. Brussels, 2000, p. 17.
- Zhang H., Yuan N., Ma Z., Huang Y. Understanding the Soil Temperature Variability at Different Depths: Effects of Surface Air Temperature, Snow Cover, and the Soil Memory. *Adv. Atmos. Sci.*, 2021, vol. 38, no. 3, pp. 493–503.
<https://doi.org/10.1007/s00376-020-0074-y>