

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ДОЛИНЫ Р. ТЕБЕРДЫ (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

А.А. Чепурная¹, Е.Ю. Новенко²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
кафедра физической географии и ландшафтоведения*

¹ *Инженер, канд. геогр. наук; e-mail: a_che@bk.ru*

² *Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: lenanov@mail.ru*

В работе представлена реконструкция изменений растительности и климата в долине р. Теберды (западная высокогорная провинция Большого Кавказа) за последние 2200 лет на основании палинологических данных, полученных из отложений оз. Каракель. Исследования выполнены с высоким временным разрешением (20–30 лет). Подобные детальные исследования в пределах Западного Кавказа единичны и представляют большую ценность для понимания динамики природной среды горных территорий. Согласно модели накопления отложений, основанной на 10 радиоуглеродных AMS-датировках, изученная колонка донных осадков начала формироваться около 2200 лет назад, осадконакопление шло равномерно и без длительных перерывов. Полученные данные показали, что в течение этого временного интервала выделено три этапа похолодания климата: 236 г. до н. э. – 107 г. н. э., 875–995 и 1210–1780 гг. н. э. и три этапа потепления: 107–875 и 995–1210 гг. н. э. и начиная с 1780 г. по настоящее время. Периоды похолоданий характеризовались увеличением обилия ели и пихты в древостоях, расширением площадей сосновых лесов и снижением участия широколиственных пород в растительном покрове. В течение теплых этапов создавались благоприятные условия для распространения грабовых и буково-грабовых лесов с примесью дуба, вяза, клена, ясеня и хмелеграба. Средневековый климатический оптимум выявлен по палинологическим данным оз. Каракель в 995–1210 гг. н. э. и отличался максимальным обилием широколиственных пород в лесных сообществах в долине р. Теберды. Последующее похолодание Малого ледникового периода продолжалось с 1210 по 1780 г. Признаков, позволяющих выявить внутри него отдельные фазы, установлено не было, несмотря на высокую детальность спорово-пыльцевого анализа.

Ключевые слова: Большой Кавказ, озеро Каракель, озерные отложения, спорово-пыльцевой анализ, средневековый климатический оптимум, Малый ледниковый период

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.7

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция динамики растительности горных территорий – это важная ступень на пути к пониманию функционирования и взаимодействия глобальных экосистем и направленности действия природных процессов. Специфику исследований горных ландшафтов определяет существование высотной поясности, которая многократно усложняет задачу реконструкции изменений растительности и климата, поскольку в горах на довольно ограниченном пространстве могут существовать экосистемы, значительно различающиеся по своим характеристикам и условиям среды.

Изученность динамики растительности Кавказа в голоцене пространственно неравномерна. Наибольшее число исследований посвящено Закавказью, где долгое время ведутся работы, объединяющие в себе целый ряд методов, позволивших восстановить не

только растительность, но и колебания уровня моря, палеоклиматические показатели, а также взаимодействие хозяйственной деятельности человека и палеоландшафтов [Kvavadze et al., 2023; Chichinadze et al., 2017; Connor et al., 2007; Kvavadze, Connor, 2005; Shatilova et al., 2011; Tvalchrelidze et al., 2004]. Интересные результаты по реконструкции растительности в голоцене получены на территории Армении [Joannin, 2014; Naugapetyan et al., 2023; Messenger, 2021]. Здесь за счет присутствия в растительности ярко-выраженной термофильной флоры есть возможность более четкого выделения стадий потепления и похолодания климата.

На Восточном Кавказе ведутся работы по изучению торфяников, в результате которых реконструированы как растительность, так и основные тенденции изменения тепло- и влагообеспеченности для времени голоцена [Рябогина и др., 2019].

На территории Западного Кавказа палеоботанические исследования проводились в районе Архыза (Республика Карачаево-Черкессия) [Kvavadze, Efremov, 1996]. К юго-востоку от данного региона, в урочище Криют (Республика Карачаево-Черкессия), выполнены исследования под руководством Л.Р. Серебрянного [Серебрянный и др., 1984], в результате которых были пробурены отложения несколько озер, по данным изучения которых выявлены основные тенденции изменения растительности в голоцене и закономерности пространственного распределения растительного покрова для среднегорий. На Северо-Западном Кавказе получены керны из оз. Хуко, по отложениям которого сделана реконструкция растительности на большую часть голоцена [Grachev et al., 2021].

Таким образом, Западный Кавказ уступает по подробности изучения другим регионам горной страны, имея в своем арсенале всего несколько коло-

нок отложений горных озер, что явно недостаточно для обширной территории, отличающейся высоким разнообразием природных условий. В статье представлены новые палинологические данные из разреза донных отложений оз. Каракель, расположенного в долине р. Теберды (западная высокогорная провинция Центрального Кавказа), выполненные с высоким временным разрешением. Полученные данные позволили детально рассмотреть изменения растительности и климата региона за последние 2200 лет.

Изучаемая территория. Озеро Каракель ($43^{\circ}26'12.44''$ с. ш., $41^{\circ}44'36.18''$ в. д.) располагается в пределах западной высокогорной провинции Большого Кавказа, в долине р. Теберды, берущей свое начало на склонах Главного Кавказского хребта (рис. 1). В районе расположения оз. Каракель долина реки простирается преимущественно с юго-юго-запада на север-северо-восток и имеет ширину около 1000–1200 м.

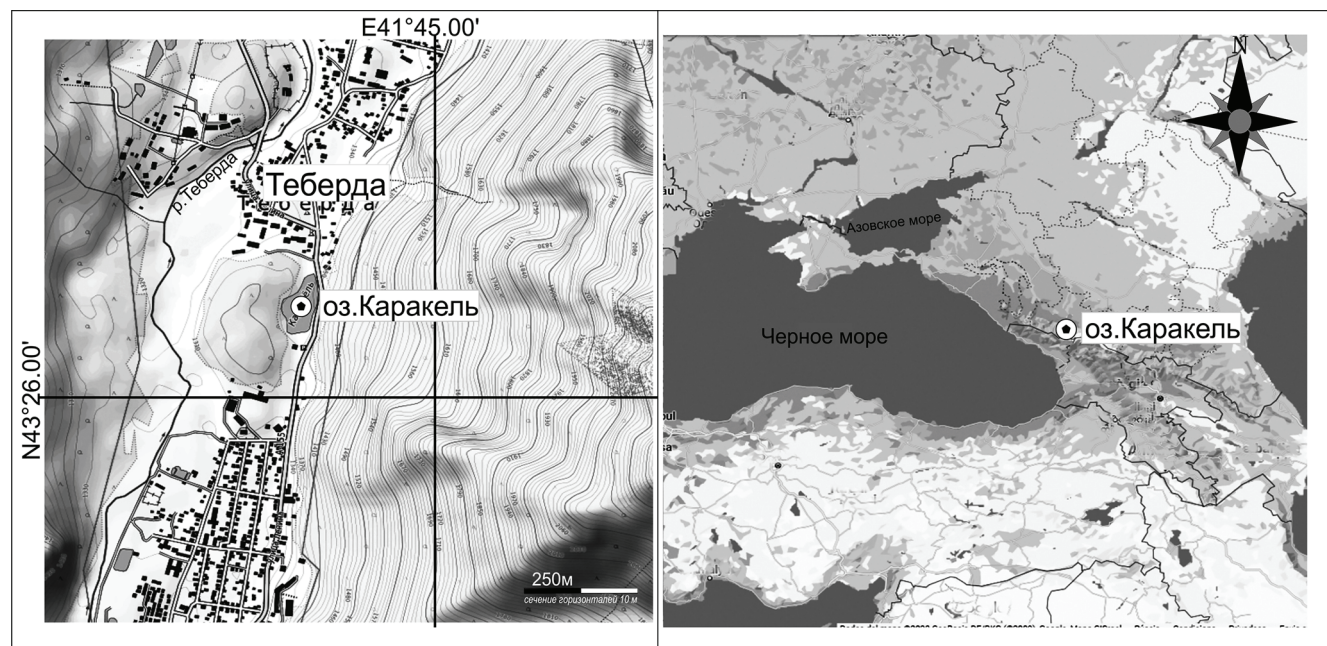


Рис. 1. Карта и схема расположения оз. Каракель
(источник картографической основы <https://bestmaps.ru/map/osm/opentopomap>)

Fig. 1. Map and scheme of the Karakel Lake location (cartographic base from <https://bestmaps.ru/map/osm/opentopomap>)

Озеро расположено на высоте 1335 м над ур. м. (уровнем моря), имеет продолговатую форму, вытянутую в направлении простираения долины. Размеры озера составляют 140×280 м, глубина колеблется в пределах 6–8 м. По мнению Л.Р. Серебрянного [Серебрянный и др., 1980], оз. Каракель образовалось путем подпруживания ледниковых потоков моренной грядой, которая в настоящее время окружает озеро с юго-западной, западной и северо-западной сторон.

Район исследований принадлежит к области умеренно-холодного климата западноевропейского типа. Для данной территории характерна высокая интенсивность солнечной радиации – продолжительность солнечного сияния достигает 2200 часов в год. Среднегодовая скорость ветра составляет около 1,8 м/с. Зима мягкая, лето умеренно теплое. Средняя температура января составляет -3°C , июля – $+15$ – 16°C . Среднегодовой показатель относительной влажности около 70%, осадков выпадает 700 мм в год [Багрова, Дроздов, 2010].

В пределах долины р. Теберды, кроме глобальных атмосферных потоков, имеющих здесь преимущественно юго-восточное и восточное направления, большое значение имеет местная циркуляция воздушных масс. В частности, горно-долинные ветры, для которых характерны суточные колебания направления – нисходящее ночью и восходящее днем. Также характерен ледниковый ветер, с большой скоростью спускающийся вниз по долине за счет возникающего горизонтального температурного градиента между ледниками и свободной от них поверхностью долины.

Основные древесные породы-эдикаторы ландшафтов на исследуемой территории – пихта (*Abies nordmanniana*), ель (*Picea orientalis*), бук (*Fagus orientalis*), сосна крючковатая (*Pinus sylvestris* subsp. *hamata*), реже дуб скальный (*Quercus petraea*) [Зернов, 2006; Пшегусов и др., 2019; Литвинская, 2021; Саблирова, 2023]. Поверхность моренной гряды, опоясывающей озеро, занята преимущественно сосновыми лесами из сосны крючковатой.

Согласно описаниям растительности, проведенным на склоне восточной экспозиции долины р. Теберды, по профилю оз. Каракель – верховья р. Малая Хатипара [Чепурная, 2014] буковый лес из бука (*Fagus orientalis*) с примесью граба (*Carpinus betulus*), пихты (*Abies nordmanniana*), ели (*Picea orientalis*) и единично березы (*Betula raddeana*) занимает высотный пояс 1300–1650 м над ур. м. Выше до высоты около 2000 м над ур. м. произрастают смешанные хвойно-широколиственные леса, в которых бук постепенно с высоты 1750 м заменяется дубом скальным. Высотный пояс 2000–2300 м над ур. м. занимают лесные сообщества из сосны крючковатой, пихты и березы (*Betula litwinowii*), который сменяется сосновым редколесьем в сочетании с лугами. Выше 2500 м над ур. м. растительный покров образуют субальпийские луга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бурение и отбор образцов из донных отложений озера происходил в два этапа. На первом этапе в 2010 г. были отобраны два керна, охватывающие диапазоны глубин 21–129 и 58–202 см (за ноль условно принята поверхность дна озера). Результаты исследования этих отложений опубликованы [Чепурная, 2014]. В 2014 г. был отобран третий керн из донных отложений озера, имеющий глубину 0–61 см. Хроностратиграфия и литологический анализ отложений озера представлен в работе М.Ю. Александрина с соавторами [Alexandrin et al., 2023]. Детальный спорово-пыльцевой анализ нового керна позволил уточнить и пересмотреть интерпретацию полученных ранее данных. В представленной работе мы

объединили результаты новых палинологических исследований третьего керна и полученные ранее результаты в один сводный разрез, имеющий глубину 76 см и характеризующий временной интервал около 2200 лет.

Донные отложения озера Каракель, вскрытые в результате бурения, четко разделяются на три слоя. Верхний слой (глубина 0–71 см) представлен сапропелем желеобразным, тонкослоистым, плотность и оттенок которого (от серого до темно-серого) меняются вниз по разрезу. Ниже (глубина 71–75 см) залегает глина темно-серая с зеленоватым оттенком, тонкослоистая, сильно обогащенная органическим веществом. Начиная с глубины 75 см вскрыта глина голубовато-серая, иногда с коричневыми прослоями мощностью 1–2 мм, плотность слоя увеличивается вниз по разрезу.

Для отложений озера Каракель получено 10 радиоуглеродных дат (табл.). Радиоуглеродное датирование проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США) (см. табл.). В представленной работе использованы расчеты скорости седиментации в озере, выполненные М.Ю. Александриним с соавторами [Alexandrin et al., 2023] на основе модели накопления отложений при помощи программы Bacon [Blaauw, Christen, 2011] в программной среде R. При калибровке радиоуглеродных дат применена калибровочная кривая IntCal20 [Reimer et al., 2020]. Поскольку возрастной диапазон изученного нами разреза составляет около 2200 лет, в представленной работе была использована система исчисления возраста как годы до нашей эры (гг. до н. э.) / годы нашей эры (гг. н. э.).

Образцы для спорово-пыльцевого анализа были отобраны с интервалом 1 см, что позволило рассмотреть динамику растительности изучаемой территории с высоким временным разрешением (20–30 лет). Пробоподготовка проведена по методике, разработанной в Институте географии РАН В.П. Гричуком [1940], включающей сепарацию образца в тяжелой жидкости с удельным весом 2,2 г/см³ с использованием раствора йодистого кадмия. В каждом образце было просмотрено более 700 пыльцевых зерен. Обработка данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы проводились с помощью программы TILIA и TILIA-Graph [Grimm, 1990]. Для расчета процентного содержания компонентов спектра за 100% была принята сумма пыльцы древесных и травянистых растений и спор ($\Sigma = AP + NAP + Spores$, где AP (arboreal pollen) – пыльца деревьев и кустарников, NAP (non-arboreal pollen) – пыльца трав и кустарничков).

Таблица

Список радиоуглеродных дат, полученных из отложений оз. Каракель [Alexandrin et al., 2023]

Номер образца	Керн	Глубина, см	Возраст ^{14}C , лет назад (1σ)/ pmc, %	Калиброванный возраст 2σ (кал. л. н. э.)	Калиброванный средний возраст (кал. л. н. э.)	Материал
IGAN-5497	Kar-14-1	7–8	100,740 $\pm$ 0,292	1697–1724; 1812–1836; 1881–1911	1825	Массовый образец (ТОС*)
IGAN-5496	Kar-14-1	13,5–14,5	340 $\pm$ 30	1474–1638	1561	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5493	Kar-14-1	13,5–14,5	725 $\pm$ 20	1266–1298	1280	Древесный остаток (ТОС)
IGAN-5495	Kar-14-1	18–19	640 $\pm$ 20	1290–1326; 1351–1395	1360	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5494	Kar-14-1	21–22	640 $\pm$ 20	1290–1326; 1351–1395	1360	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5333	Kar-10-2	6–6,5	880 $\pm$ 20	1053–1076; 1156–1120	1185	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5332	Kar-10-2	12–12,5	1030 $\pm$ 20	991–1030	1010	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5331	Kar-10-2	20–20,5	1235 $\pm$ 20	668–742; 772–779; 785–878	798	Массовый образец (ТОС)
Poz-42587	Kar-10-2	30–31	1550 $\pm$ 30	431–587	513	Массовый образец (ТОС)
Poz-42588	Kar-10-2	52	2235 $\pm$ 35	391–338; 326–198 (кал. лет до н. э.)	278 (кал. лет до н. э.)	Массовый образец (ТОС)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученная спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 2) разделена на семь пыльцевых зон, соответствующих этапам изменения растительности.

Зона 1 (75–65 см, 236 г. до н. э. – 107 г. н. э.). Доля пыльцы древесных пород колеблется в диапазоне 55–70%, при этом доля пыльцы сосны составляет от 40 до 70% по отношению к общей сумме пыльцы и спор. Содержание пыльцы *Betula*, *Alnus* и *Fagus* не превышает 5–10%, доля *Quercus* снижается от 7–8% в нижней части зоны до 3% у ее верхней границы. В небольшом количестве отмечена пыльца *Ulmus*, *Carpinus*, *Acer*, *Osrya*, а также *Abies*, *Picea* (1–2%). Участие пыльцы хвойных пород *Picea* и *Abies* не превышает 5%. Отмечены единичные пыльцевые зерна грецкого ореха. Кустарники представлены пыльцой *Corylus* (5–10%), *Salix* (до 1%) и *Hippophae rhamnoides* (2–3%).

Отличительная особенность зоны 1 – это максимальное содержание пыльцы травянистых растений во всем изученном разрезе. Среди таксонов этой группы преобладает *Poaceae* (до 25% в нижней части зоны, сокращаясь вверх по профилю до 10%). Содержание пыльцы *Artemisia* и *Cannabis* составляет 1–2%, доля пыльцы *Cyperaceae*,

Chenopodiaceae, *Ranunculaceae* – 0,5–1%. Разнообразна пыльца лугового разнотравья. Пыльца *Plantago* и *Rumex*, используемых часто как индикаторы антропогенного воздействия, присутствует в спектрах в количестве 0,5%. Также обнаружены единичные зерна *Helianthemum* и *Polygonum amphibium*. Содержание пыльцы водных растений, в целом, около 5%. Группа спор немногочисленна (2–3%). Отмечены споры хвоща и папоротников.

Зона 2 (65–49 см, 107–605 гг. н. э.). Участие пыльцы древесных пород возрастает до 90–95%, при этом доля сосны составляет 50–70%. Увеличивается содержание пыльцы березы, ольхи и лещины (15–20%). Доля бука и граба – 3–5%, участие пыльцы других древесных пород и кустарников не превышает 2%. Отмечена пыльца *Ostrya carpinifolia*. В группе пыльцы травянистых растений выявлено существенное сокращение пыльцы злаков (до 5–7%), разнообразие и обилие пыльцы других таксонов группы трав близко к предыдущей зоне. Среди водных растений относительно обильны *Myriophyllum* (до 5%) и *Sparganium* (до 2%). Споры представлены единичными зернами *Equisetum*, *Botrychium* и папоротников сем. *Polypodiaceae*.

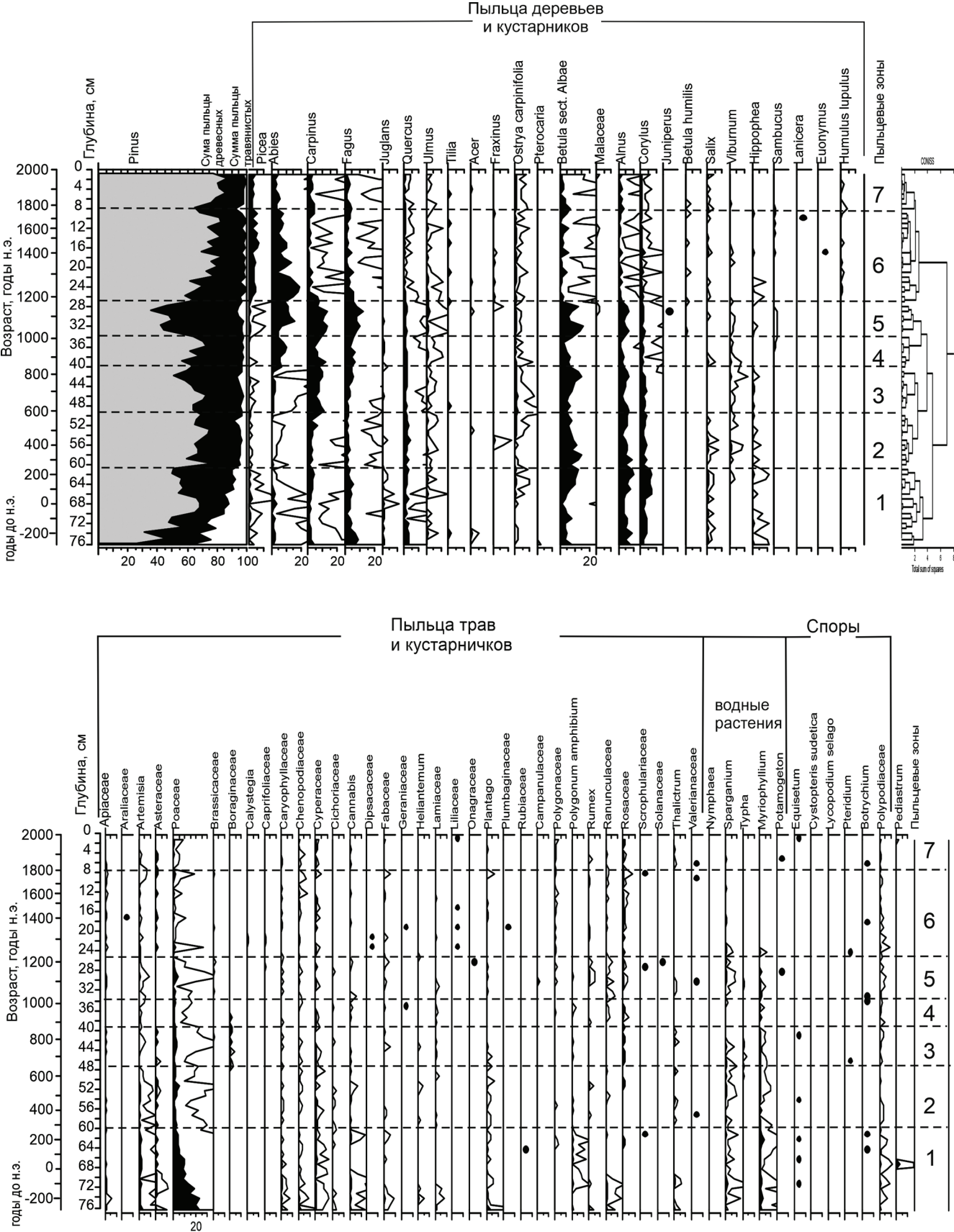


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений оз. Каракель
(AP + NAP = 100%. Дополнительный контур показывает увеличение базового таксона в 10 раз)

Fig. 2. Spore-pollen diagram of the Karakel Lake sediments
(AP+NAP=100%. Additional contour shows 10-fold increase of the basic taxon)

Зона 3 (49–39 см, 695–875 гг. н. э.) выделена по возрастанию содержания пыльцы *Carpinus* (до 10%). В верхней части зоны увеличивается содержание пыльцы *Fagus* (до 5%) и *Betula* (до 15%). Участие в спектрах травянистых растений снижается до нескольких процентов. Внутри группы NAP сокращается количество пыльцы полыни и возрастает доля разнотравья (*Boraginaceae*, *Lamiaceae*, *Caryophyllaceae*, содержание *Rosaceae* возросла до 1–2%).

Зона 4 (39–35 см, 875–995 гг. н. э.) маркируется возросшим содержанием в спектрах пыльцы *Pinus* (до 80%) и *Abies* (до 10–12%). Доля пыльцы граба и бука, а также березы в средней части зоны снижается до 5–7%. Состав группы пыльцы травянистых растений и спор близок к предыдущей зоне. Заметно сокращается содержание пыльцы водных растений (менее 1%).

Зона 5 (35–26 см, 995–1210 гг. н. э.). Спорово-пыльцевые спектры характеризуются резким сокращением доли пыльцы *Pinus* (30–40%) и существенным возрастанием содержания пыльцы *Abies* (до 17%), *Carpinus* (10–12%), *Fagus* (10%), *Betula* (до 20%), *Alnus* (до 10%). Доля пыльцы ели не превышает 2%, хотя просматривается тенденция к увеличению ее участия в спектрах вверх по разрезу. Отмечена пыльца *Quercus*, *Ulmus*, *Ostrya* (1–2%). Кустарники представлены пыльцой *Corylus* (5%), *Salix*, *Viburnum* и *Sambucus*, отмечены единичные пыльцевые зерна облепихи. Доля группы NAP составляет 3–5%, немного увеличилась доля злаков по сравнению с предыдущей зоной (до 4%). Споры единичны (*Polypodiaceae*). Количество пыльцы водных растений возрастает до 3–5%.

Зона 6 (27–8 см, 1210–1780 гг. н. э.). Доля пыльцы древесных пород составляет 96–98%. В спектрах отмечено увеличение содержания пыльцы пихты (20%), ели (10%) и сосны (70–80%). В то же время участие пыльцы граба, бука, березы и ольхи резко снижается до 2–3%. Доля пыльцы остальных широколиственных пород также снижается, пыльца грецкого ореха исчезает из спектров. В группе NAP (2–3%) в небольшом количестве присутствует пыльца *Roaceae*, *Artemisia*, *Rosaceae* и *Cyperaceae*.

Зона 7 (10–0 см, 1780 г. н. э. – настоящее время) выделяется по увеличению доли пыльцы граба и бука до 4%, березы (10%) и ольхи (4%), одновременно сократилось содержание пихты и ели (3–5%). Участие пыльцы сосны в спектрах остается высоким (80–85%). Группа пыльцы травянистых растений бедна по таксономическому составу и включает небольшое количество пыльцы злаков, осоковых, маревых и представителей разнотравья. В группе водных растений отмечены единичные пыльцевые зерна *Potamogeton* и *Sparganium*. Доля спор не превышает 1% (*Equisetum*, *Botrychium*, *Polypodiaceae*).

На формирование спорово-пыльцевых спектров в пределах горных территорий, кроме биологических особенностей растений, таких как пыльцевая продуктивность разных видов и способность их пыльцы распространяться по воздуху, оказывает влияние целый ряд других факторов: высота территории над уровнем моря, степень залесенности склонов, геоморфологическое положение и климатические характеристики, в частности преобладающее направление ветров, осадки и влажность воздуха.

Для понимания взаимосвязей между составом спорово-пыльцевого спектра и растительности долины р. Теберды были привлечены полученные ранее результаты анализа рецентных проб, отобранных вдоль высотного градиента на юго-восточном склоне хребта Хатипара [Чепурная, 2014], а также опубликованные материалы [Клопотовская, 1973; Kvavadze, 1993; Kvavadze, Stuchlic, 1996; Abraham et al., 2021].

Как показали исследования, горно-долинные ветры, очевидно, способствуют выносу пыльцы древесных пород вниз и вверх по склонам, из-за чего она довольно часто встречается за пределами пояса произрастания продуцирующего источника. Нередко пыльца широколиственных пород отмечается в спектрах, характеризующих субальпийские и альпийские луга [Чепурная, 2014], так как на открытых пространствах дальность ее переноса существенно увеличивается. Это необходимо учитывать при интерпретации данных спорово-пыльцевого анализа.

Согласно полученным данным, доля пыльцы пихты в количестве 15–20% отражает ее участие в древостоях в точке отбора поверхностных проб. Для пыльцы сосны из-за ее существенно большей пыльцевой продуктивности и способности переноситься по воздуху на большие расстояния, процентные соотношения несколько иные – в растительном сообществе сосна встречена только там, где доля ее в спектрах достигает 80%. Для большинства широколиственных пород деревьев, таких как дуб, липа, клен, хмелеграб, граб, бук участие их пыльцы в спектре в количестве 1–2% свидетельствует о наличии этих пород в составе древостоя исследуемого высотного пояса, либо смежных с ним поясов [Чепурная, 2014]. Это заключение согласуется с результатами исследований Э. Квавадзе и Л. Стучлика [Kvavadze, Stuchlic, 1996], которые показали, что пыльца бука преимущественно остается под пологом продуцирующего ее источника. На дальность переноса пыльцы по воздуху существенное влияние оказывает его влажность и количество осадков, выпадающих на протяжении вегетационного периода. Влажный воздух и осадки, вероятно, связывают и утяжеляют пыльцевые зерна [Kvavadze, 1993], тем самым препятствуя их распространению на большие расстояния. Этот фактор, вероятно, имеет зна-

чение в долине р. Теберды, где среднегодовое количество осадков достигает 700 мм, большая часть которых выпадает в теплый период года.

Результаты палинологических исследований отложений оз. Каракель позволяют рассмотреть историю растительности и климата долины р. Теберды в субатлантический период голоцена. Радиоуглеродная датировка нижней границы полученного керна озерных отложений 2235 ± 35 ^{14}C лет назад (см. таблицу). Линейный график модели роста отложений [Alexandrin et al., 2023], построенной по радиоуглеродным датировкам, свидетельствует о том, что аккумуляция минерально-органических осадков проходила равномерно и без длительных перерывов.

В истории растительности и климата изучаемой территории на основании полученных данных выделено семь основных этапов.

Состав и соотношение компонентов спорово-пыльцевых спектров, соответствующих *первому этапу* (236 г. до н. э. – 107 г. н. э.) преобразования растительности, указывают на сочетание в растительном покрове лесных сообществ с участием бука и пихты, теневыносливых и влаголюбивых пород на Кавказе [Зернов, 2006; Литвинская, 2021] и обширных открытых пространств, занятых лугово-степной растительностью, с участием гемиксерофильного гелиофита солнцезвезда (*Helianthemum*) [Литвинская, 2021], что отражает приуроченность растительных сообществ к склонам разной экспозиции. Лугово-степные формации с высокой долей полыней и злаков были приурочены к склонам южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций. Нижние и средние части склонов северной и смежных с ней экспозиций были, очевидно, покрыты хвойно-широколиственными лесами из бука и пихты с участием ели. Выше по склону бук, возможно, заменялся более ксерофитным и светолюбивым дубом.

Наличие обширных открытых пространств, занятых лугово-степной растительностью, может указывать на относительно низкую теплообеспеченность в период формирования этих отложений. Похолодание климата в рассматриваемый период отмечено в разрезах Южного Кавказа, в частности в Грузии [Connor et al., 2007; Shatilova et al., 2011] и Армении [Наугаретуан et al., 2023; Joannin et al., 2014]. По данным исследования болота Заришат в Армении [Joannin et al., 2014], похолодание климата проявилось в сокращении доли древесных пород в спектрах и возрастании NAP-компонента. Результаты исследований озерных и морских отложений на территории Грузии [Connor et al., 2007] показывают, что сильное похолодание климата было краткосрочным (продолжительностью около 500 лет). Оно началось около 500 лет до н. э. и сопровождалось снижением границы леса на 350–400 м в сравнении

с современным положением. Таким образом, в изученном нами разрезе отражена лишь завершающая часть этого похолодания и переход к более теплой фазе, о чем свидетельствует тенденция к сокращению площадей открытых пространств, выраженная в спорово-пыльцевых спектрах как снижение доли пыльцы травянистых пород.

Особенность спорово-пыльцевых спектров рассматриваемого этапа – это высокое содержание в спектрах пыльцы пород, формирующих интразональные ландшафты – березы, облепихи и ивы. Согласно исследованию ландшафтных сукцессий на Кавказе [Петрушина, 2016], эти древесные породы приурочены к нарушенным селевыми и лавинными процессами грунтам в днищах долин. Березовые формации также располагаются по лавинным прочесам и конусам выноса на склонах троговых долин. Возможно, похолодание климата способствовало развитию процессов морозного выветривания и усилению экзарационной деятельности ледников, что создавало условия для активизации катастрофических геоморфологических процессов, в частности селей и лавин.

В течение *второго этапа* (107–605 гг. н. э.) происходит заселение открытых пространств древесной растительностью (пыльцевая зона 2) – в первую очередь сосной, распространяющейся по потяжинам, лоткам и оврагам на южных – более сухих – склонах, а также по дренируемым местообитаниям в днищах долин. Судя по сокращению доли пыльцы растений, характерных для интразональных сообществ (березы, ивы, облепихи), происходило снижение активности селей и лавин. Начавшееся потепление климата способствует расширению влияния граба (*Carpinus betulus*), который, обладая высокой экологической пластичностью, способен занимать местообитания с нарушенными и слаборазвитыми почвами [Зернов, 2006], вытесняя таким образом березу с отмирающих лавинных лотков и конусов выноса в нижних частях склонов долины.

Третий этап (695–875 гг. н. э.) характеризовался преобладанием грабовых, грабово-буковых, реже дубово-грабовых лесов на нижних частях склонов долины р. Теберды (пыльцевая зона 3). Наличие первых процентов пыльцы пихты в спектрах, вероятно, свидетельствует о том, что выше по склону широколиственные леса переходят в хвойно-широколиственные. Снижение доли пыльцы сосны, также наблюдающееся в спектрах, может быть признаком сокращения участия сосновых лесов на моренной гряде, окружающей озеро, место которых заняли широколиственные или смешанные сосново-широколиственные леса. Ориентируясь на минимальное содержание пыльцы темнохвойных пород и высокую долю пыльцы широколиственных в спектрах,

можно предполагать, что на протяжении данного временного интервала теплообеспеченность достигает своего максимума. Влагодобеспеченность также возрастает.

В спорово-пыльцевых спектрах, соответствующих **четвертому этапу** развития растительности (875–995 гг. н. э.), доля широколиственных снижается вдвое, при этом доля пихты возрастает в пять раз. Незначительно увеличивается и содержание сосны. Подобная динамика древесной растительности свидетельствует о довольно резком похолодании. Длительность его не превышала 150 лет. Однако оно привело к снижению границы пояса хвойно-широколиственных лесов из пихты, бука и граба к подножию и на нижние части склонов. Похолодание способствовало, вероятно, тому, что сосна снова стала завоевывать пространства на моренных грядках в днище долины.

Спорово-пыльцевые спектры из отложений, накопившихся в течение **пятого этапа** истории растительности (995–1210 гг. н. э.) отличаются максимальным за весь рассматриваемый период содержанием пыльцы граба и бука, а также высокой долей пихты (зона 5). Широкое развитие получают грабовые, буковые, пихтово-буковые леса. Распространение буковых и буково-пихтовых формаций свидетельствует о значительном потеплении климата и высоких, близких к максимальным, значениях влагодобеспеченности. Временные рамки этого интервала соответствуют Средневековому климатическому оптимуму (СКО) [PAGES 2k Consortium, 2013]. Результаты геохимических исследований отложений оз. Каракель, в том числе анализ содержания брома в озерных осадках, позволили выделить теплую фазу, соответствующую СКО в интервале 960–1270 гг. н. э., что в целом хорошо согласуется с палинологическими данными [Alexandrin et al., 2023]. В отложениях оз. Хуко, расположенного на Западном Кавказе на высоте 1744 м над ур. м., в этот же временной интервал выявлено увеличение содержания органического вещества в озерных осадках и рост обилия пыльцы *Quercus*, *Tilia* и *Corylus* в палинологических спектрах [Grachev et al., 2021]. В Грузии СКО выделен по росту в спектрах таких пород, как *Zelkova*, *Pterocarya*, *Juglans* [Connor et al., 2007; De Klerk et al., 2009]. В отложениях болота Заришат (Армения) этого времени фиксируется появление пыльцы *Pterocarya* [Joannin et al., 2014].

Похолодания климата **шестого этапа** (1210–1780 гг. н. э.) привело к сокращению численности широколиственных пород в лесных сообществах. Одновременно с этим возрастает доля пихты, ели и сосны (зона 6). В начале данного этапа (1210–1315 гг. н. э.) – широкое распространение получили

буково-пихтовые леса на нижних частях склонов северной и смежной с ней экспозиций, сменяющиеся вверх по склону пихтарниками, иногда с примесью ели. Высокая доля пихты в ландшафтах свидетельствует о продолжающемся положительном тренде влагодобеспеченности, максимум которого вероятно совпадает с максимумом пихты. Последовавшее снижение влажности в период с 1315 до 1780 г. н. э. подтверждается экспансией сосны, которая относится к мезоксерофитным растениям [Зернов, 2006]. Сосна, вероятно, расселялась не только по моренным грядкам и понижениям на склонах южной экспозиции, но и расширяла свой пояс, располагающийся выше пояса темнохвойных лесов и граничащий с субальпийскими лугами [Литвинская, 2021; Shatilova, 2011].

Данный этап похолодания климата совпадает по времени с Малым ледниковым периодом (МЛП) [PAGES 2k Consortium, 2013], существование которого на Кавказе подтверждается большей частью палеогеографических исследований. На основе результатов литологического изучения отложений оз. Каракель, М.Ю. Александрин с соавторами [Alexandrin et al., 2023] выделили в составе МЛП в рассматриваемом регионе три фазы: 1270–1410, 1500–1630, 1750–1840 гг. н. э. По результатам изучения отложений оз. Рыбного [Kvavadze, Efremov, 1996], расположенного в 50 км к северо-западу от оз. Каракель на высоте 2156 м абс., в районе Архыза было выделено две стадии Малого ледникового периода, соответствующих XV и XVII вв. Палинологические данные изученного нами разреза оз. Каракель не выявили различных стадий МЛП, несмотря на высокое временное разрешение, с которым проведен спорово-пыльцевой анализ (около 30 лет). Изменения растительного покрова в течение шестого этапа отражают, скорее, эволюционное преобразование растительности на протяжении одной стадии, в которой происходило постепенно похолодание и аридизация климата.

Если проводить сопоставление с результатами других палинологических исследований Кавказа, то несколько этапов МЛП выделяется не везде. Например, на диаграмме разреза Ispani II [Connor et al., 2007], изученного на Черноморском побережье Грузии, признаки похолодания климата (около 500–600 лет назад), индикатором которого было существенное снижение содержания пыльцы *Pterocarya* и *Zelkova*, соответствуют одному этапу.

Заключительный, **седьмой этап** развития растительности в долине р. Теберды (1780 г. – настоящее время) характеризуется расширением площадей распространения широколиственных и хвойно-широколиственных лесов, преимущественно из граба, бука, пихты и ели и продвижением их вверх по

склонам долины. Высокая доля пыльцы сосны в спектрах (до 85%, зона 7) указывает на увеличение площади сосняков в окрестностях озера, что может быть связано с сукцессиями растительности в результате антропогенного воздействия.

ВЫВОДЫ

Проведенные палинологические исследования показали, что разрез донных отложений оз. Каракель – один из наиболее полных и репрезентативных разрезов в Кавказском регионе, описывающий субатлантический период голоцена. Полученные результаты спорово-пыльцевого анализа, выполненные с высоким временным разрешением (20–30 лет), позволили сделать следующие выводы:

1. В течение последних 2200 лет было выделено три этапа похолодания климата: 236 г. до н. э. – 107 г. н. э., 875–995 и 1210–1780 гг. н. э. и три этапа потепления: 107–875 и 995–1210 гг. н. э. и начиная с 1780 г. по настоящее время. В течение относительно холодных интервалов происходило перемещение

на более низкие гипсометрические уровни нижней границы пояса темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов с участием темнохвойных пород, а также расширение площадей сосновых лесов. В течение теплых этапов создавались благоприятные условия для произрастания широколиственных лесов в долине р. Теберды. Эти интервалы характеризовались распространением грабовых, буковых, грабово-буковых и пихтово-буковых лесов.

2. Период с высокими тепло- и влагообеспеченностью и максимальным обилием широколиственных пород деревьев в лесных сообществах выявлен между 995 и 1210 гг. н. э., что соответствует средневековому климатическому оптимуму.

3. Малый ледниковый период четко выделяется по палинологическим данным из оз. Каракель в интервале 1210–1780 гг. н. э. Несмотря на высокое временное разрешение, с которым проведен палинологический анализ, нами не были выявлены различные стадии МЛП, установленные в результате литологического изучения отложений озера.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность руководителю полевого отряда член-корр. РАН О.Н. Соломиной и всем участникам полевых работ на озере Каракель 2010–2014 гг. Подготовка статьи выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багрова Т.Н., Дроздов В.В. Влияние крупномасштабной атмосферной циркуляции на климатические параметры Западного Кавказа (Тебердинский биосферный заповедник) // Ученые записки Рос. гос. гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 52–63.
- Гричук В.П. Методика обработки осадочных пород бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа // Проблемы физической географии. 1940. Вып. 8. С. 53–58.
- Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2006. 664 с.
- Клопотовская Н.Б. Основные закономерности формирования спорово-пыльцевых спектров в горных районах Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 186 с.
- Литвинская С.А. Флора и растительность высотной поясности северо-западнокавказского оробиома // Химия, экология и рациональное природопользование: материалы Международной научно-практической конференции (г. Магас, 21–23 октября 2021 г.). Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 221–228.
- Петрушина М.Н. Особенности ландшафтных сукцессий в зонах схода селевых потоков на Северном Кавказе // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6–10 сентября 2016 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 199–203.
- Пиегусов Р.Х., Темботова Ф.А., Саблирова Ю.М. Основные закономерности пространственной локализации различных типов хвойных лесов северного макросклона Западного Кавказа по материалам дистанционного зондирования земли // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: доклады VII Всероссийской конференции (Москва, 22–24 апреля 2019 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 84–88.
- Рябогина Н.Е., Идрисов И.А., Борисов А.В. и др. Болота восточного Кавказа как высокоразрешающие архивы палеогеографической информации // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 85–94.
- Рябогина Н.Е., Насонова Э.Д., Борисов А.В. и др. Изменения растительности Дагестана в голоцене (по пыльцевым данным горных и равнинных торфяных архивов) // Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана) / отв. ред. А.Б. Савинецкий. М.: Медиа-ПРЕСС, 2019. С. 288–289.
- Саблирова Ю.М. Березовые леса с участием *Betula raddeana* Trautv. Тебердинского национального парка (Северо-Западный Кавказ) // Мат. межд. конф.: Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений, посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е.А. Сидоровича (Минск, 9–10 марта 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси; под ред. Ж.А. Рупасова и др. Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 277–280.
- Серебрянный Л.Р., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н. и др. Растительность центральной части высокогорного Кав-

- каза в голоцене // Бюлл. комиссии по изуч. четвертичн. периода. 1980. № 50. С. 123–137.
- Серебрянный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В. и др. Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М.: Наука, 1984. 216 с.
- Чепурная А.А. Динамика растительного покрова в позднем голоцене в районе оз. Каракель – долина р. Теберды (по палинологическим данным) // Известия РАН. Сер. Географическая. 2014. № 2. С. 84–95. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-2-84-95.
- Abraham V., Hicks S., Svobodová-Svitavská H. et al. Patterns in recent and Holocene pollen accumulation rates across Europe – the Pollen Monitoring Programme Database as a tool for vegetation reconstruction, *Biogeosciences*, 2021, no. 18, p. 4511–4534, DOI: 10.5194/bg-18-4511-2021.
- Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of Heat Availability in the Western Caucasus in the Past 1500 Years Inferred from a High-Resolution Record of Bromine in the Sediment of Lake Karakel, *Quaternary International*, 2023, vol. 664, p. 20–32, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.05.020.
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process, *Bayesian Analysis*, 2011, vol. 3, p. 457–474, DOI: 10.1214/11-BA618.
- Chichinadze M., Kvavadze E., Martkoplshvili I. Environmental Conditions at the Vani Site of the Classical Period according to Palynological Data, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2017, vol. 11, no. 4, p. 112–118.
- Connor S.E., Thomas I., Kvavadze E.V. A 5600-Yr History of Changing Vegetation, Sea Levels and Human Impacts from the Black Sea Coast of Georgia, *The Holocene*, 2007, vol. 17, iss. 1, p. 25–36, DOI: 10.1177/0959683607073270.
- De Klerk P., Haberl A., Kaffke A. et al. Vegetation History and Environmental Development since ca 6000 Cal Yr BP in and around Ispani 2 (Kolkheti Lowlands, Georgia), *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, iss. 9–10, p. 890–910, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.12.005.
- Grachev A.M., Novenko E.Y., Grabenko E.A. et al. The Holocene paleoenvironmental history of Western Caucasus (Russia) reconstructed by multi-proxy analysis of the continuous sediment sequence from Lake Khuko, *The Holocene*, 2021, vol. 31, p. 368–379, DOI: 10.1177/0959683620972782.
- Grimm E.C. TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data, *INQUA Working Group on Data-Handling Methods*, Newsletter, 1990, vol. 4, p. 5–7.
- Hayrapetyan N., Hakobyan E., Kvavadze E. et al. Middle to late Holocene lake level changes of Lake Sevan (Armenia) – Evidence from macro and micro plant remains of Tsovinar-1 peat section, *Quaternary International*, 2023, vol. 661, p. 34–48, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.03.013.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V. et al. Vegetation, Fire and Climate History of the Lesser Caucasus: A New Holocene Record from Zarishat Fen (Armenia), *Palaeoenvironment and palaeoclimate in Armenia. J. Quaternary Sci.*, 2014, vol. 29, iss. 1, p. 70–82, DOI: 10.1002/jqs.2679.
- Kvavadze E.V. On the interpretation of subfossil spore-pollen spectra in the mountains, *Acta Paleobot.*, 1993, vol. 33, iss. 1, p. 347–360.
- Kvavadze E., Chagelishvili R., Rezesidze N. et al. Palynological Study of Archaeometallurgical Artefacts from the Late Bronze Age Copper Smelting Sites (Georgia): First Results and Implications for Future Research, 2023, 13 p., URL: <https://ssrn.com/abstract=4427249>, DOI: 10.2139/ssrn.4427249.
- Kvavadze E.V., Connor S.E. Zelkova carpinifolia (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia – an indicator of climatic optima, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2005, vol. 133, iss. 1–2, p. 69–89.
- Kvavadze E.V., Efremov Y.V. Palynological studies of lake and lake-swamp sediments of the Holocene in the high mountains of Arkhyz (Western Caucasus), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 107–119.
- Kvavadze E.V., Stuchlic L. Recent pollen spectra of the mountain forests of the Lagodekhi reservation (East Georgia), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 121–148.
- Messenger E., Poulenard J., Sabatier P. et al. Paravani, a puzzling lake in the South Caucasus, *Quaternary International*, 2021, vol. 579, p. 6–18, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.04.005.
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 2013, vol. 6, p. 339–346.
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The Intcal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal ka BP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 4, p. 725–757, DOI: 10.1017/RDC.2020.41.
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L. et al. *The history of the flora and vegetation of Georgia*, Tbilisi, Georgian National Museum, 2011, 200 p., DOI: 10.1007/978-3-642-29915-5_2.
- Tvalchrelidze M., Lebanidze Z., Jaoshvili G. Eustatics of the Black Sea and sedimentation peculiarities during the last 20 000 years (Georgian sector of the Black Sea), *Proceed. of Geological Institute, Georgian Academy of Sciences*, new series, 2004, vol. 119, p. 656–670.

Поступила в редакцию 16.01.2024

После доработки 12.04.2024

Принята к публикации 26.06.2024

VEGETATION AND CLIMATE HISTORY OF THE TEBERDA RIVER VALLEY (WESTERN CAUCASUS) IN THE LATE HOLOCENE FROM THE PALYNOLOGICAL DATA

A.A. Chepurnaya¹, E.Yu. Novenko²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Department of Physical Geography and Landscape Science*

¹ *Engineer, Ph.D. in Geography; e-mail: a_che@bk.ru*

² *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lenanov@mail.ru*

The paper presents a reconstruction of the Late Holocene vegetation and climate changes in the Teberda River valley (highland part of the Western Caucasus), based on palynological data from the Lake Karakel' sediment cores. A high time resolution (20–30 years) of obtained results gives us a unique possibility for detailed studies of natural environment dynamics in the Western Caucasus. According to the age-depth model based on 10 radiocarbon AMS dating, the sediments of the studied core formed during the last 2200 years with a stable accumulation rate without hiatuses. The obtained pollen data showed that during this time interval three stages of climate cooling were determined: 236 BC – 107 AD, 875–995 AD and 1210–1780 AD, as well as three stages of warming: 107–875 AD and 995–1210 AD and starting from 1780 to the present. Cooling phases were characterized by increasing abundance of *Picea* and *Abies* in forest stands, the expansion of pine forests and decreasing participation of broad-leaved species in vegetation cover. During the warm stages favourable conditions were created for the spread of *Carpinus* and *Fagus-Carpinus* forests with an admixture of *Quercus*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus* and *Ostrya*. The period of the Medieval Climate Anomaly between 995 and 1210 AD was revealed by the palynological data from the Karakel Lake and was distinguished by the maximum abundance of broad-leaved tree species in forests of the Teberda River valley. The subsequent cooling of the Little Ice Age (LIA) lasted from 1210 to 1780 AD. No signs of different phases within the LIA were determined by pollen analysis despite the high temporal resolution of obtained data.

Keywords: the Greater Caucasus, the Karakel Lake, lake deposits, pollen analysis, Medieval Climate Anomaly, Little Ice Age

Acknowledgements. The authors are deeply grateful to O.N.Solomina, Corresponding Member of the RAS, Head of the field party, and to all participants of 2010–2014 field studies at the Karakel Lake. The paper was prepared under the state task of the Institute of Geography of RAS FMWS-2024-0005.

REFERENCES

- Abraham V., Hicks S., Svobodová-Svitavská H. et al. Patterns in recent and Holocene pollen accumulation rates across Europe – the Pollen Monitoring Programme Database as a tool for vegetation reconstruction, *Biogeosciences*, 2021, no. 18, p. 4511–4534, DOI: 10.5194/bg-18-4511-2021.
- Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of Heat Availability in the Western Caucasus in the Past 1500 Years Inferred from a High-Resolution Record of Bromine in the Sediment of Lake Karakel, *Quaternary International*, In press. Available online 11 June 2023, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.05.020.
- Bagrova T.N., Drozdov V.V. Vliyanie krupnomasshtabnoj atmosfernoj tsirkulyatsii na klimaticheskie parametry Zapadnogo Kavkaza (Teberdinskij biosfernyj zapovednik) [Influence of large-scale atmospheric circulation on climatic parameters of the Western Caucasus (Teberdinsky state reserve)], *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, 2010, no. 13, p. 52–63. (In Russian)
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process, *Bayesian Analysis*, 2011, vol. 3, p. 457–474, DOI:10.1214/11-BA618.
- Chepurnaya A.A. Dinamika rastitalnogo pokrova v pozdnem golotsene v rajone oz. Karakel – dolina r. Teberda (po palinologicheskim dannym) [Dynamics of Vegetation Cover in the Late Holocene in Lake Karakel – Teberda Valley Area (According to Palynological Data)], *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 2, p. 84–95, DOI: 10.15356/0373-2444-2014-2-84-95. (In Russian)
- Chichinadze M., Kvavadze E., Martkoplshvili I. Environmental Conditions at the Vani Site of the Classical Period according to Palynological Data, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2017, vol. 11, no. 4, p. 112–118.
- Connor S.E., Thomas I., Kvavadze E.V. A 5600-Yr History of Changing Vegetation, Sea Levels and Human Impacts from the Black Sea Coast of Georgia, *The Holocene*, 2007, vol. 17, iss. 1, p. 25–36, DOI: 10.1177/0959683607073270.
- De Klerk P., Haberl A., Kaffke A. et al. Vegetation History and Environmental Development since ca 6000 Cal Yr BP in and around Ispani 2 (Kolkheti Lowlands, Georgia), *Quaternary Science Review*, 2009, vol. 28, iss. 9–10, p. 890–910, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.12.005.
- Grachev A.M., Novenko E.Y., Grabenko E.A. et al. The Holocene paleoenvironmental history of Western Caucasus (Russia) reconstructed by multi-proxy analysis of the continuous sediment sequence from Lake Khuko, *The Holocene*, 2021, vol. 31, p. 368–379, DOI: 10.1177/0959683620972782.

- Grichuk V.P. [A technique for processing sedimentary rocks poor in organic residues for the purposes of pollen analysis], *Problemy fizicheskoy geografii* [Problems of physical geography], 1940, iss. 8, p. 53–58. (In Russian)
- Grimm E.C. TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data, *INQUA Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter*, 1990, vol. 4, p. 5–7.
- Hayrapetyan N., Hakobyan E., Kvavadze E. et al. Middle to late Holocene lake level changes of Lake Sevan (Armenia) – Evidence from macro and micro plant remains of Tsovinar-1 peat section, *Quaternary International*, 2023, vol. 661, p. 34–48, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.03.013.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V. et al. Vegetation, Fire and Climate History of the Lesser Caucasus: A New Holocene Record from Zarishat Fen (Armenia). Palaeoenvironment and palaeoclimate in Armenia, *J. Quaternary Sci.*, 2014, vol. 29, iss. 1, p. 70–82, DOI: 10.1002/jqs.2679.
- Kopotovskaya N.B. *Osnovnye zakonomernosti formirovaniya sporovo-pyl'tsevykh spektrov v gornykh raionakh Kavkaza* [The main regularities of the formation of spore-pollen spectra in the mountainous regions of the Caucasus], Tbilisi, Metsniereba Publ., 1973, 186 p. (In Russian)
- Kvavadze E.V. On the interpretation of subfossil spore-pollen spectra in the mountains, *Acta Paleobot.*, 1993, vol. 33, iss. 1, p. 347–360.
- Kvavadze E., Chagelishvili R., Rezesidze N. et al. *Palynological Study of Archaeometallurgical Artefacts from the Late Bronze Age Copper Smelting Sites (Georgia): First Results and Implications for Future Research*, 2023, 13 p., URL: <https://ssrn.com/abstract=4427249>, DOI: 10.2139/ssrn.4427249.
- Kvavadze E.V., Connor S.E. Zerkova carpinifolia (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia – an indicator of climatic optima, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2005, vol. 133, iss. 1–2, p. 69–89.
- Kvavadze E.V., Efremov Y.V. Palynological studies of lake and lake-swamp sediments of the Holocene in the high mountains of Arkhyz (Western Caucasus), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 107–119.
- Kvavadze E.V., Stuchlik L. Recent pollen spectra of the mountain forests of the Lagodekhi reservation (East Georgia), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 121–148.
- Litvinskaya S.A. [Flora and vegetation of the North-West Caucasian orobion], *Khimiya, ekologiya i ratsionalnoe prirodopolzovanie* [Chemistry, ecology and rational nature management], Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Magas, October 21–23, 2021), Makhachkala, ALEF Publ., 2021, p. 221–228. (In Russian)
- Messager E., Poulenard J., Sabatier P. et al. Paravani, a puzzling lake in the South Caucasus, *Quaternary International*, 2021, vol. 579, p. 6–18, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.04.005.
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 2013, vol. 6, p. 339–346.
- Petrushina M.N. [Features of landscape successions in the zones of debris flows release in the Northern Caucasus], *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zaschita* [Debris flows: risks, forecast, protection], materials of IV International Conference (Russia, Irkutsk – Arshan village (The Republic of Byriatia), September 6–10, 2016), Irkutsk, Publishing House of Sochava Institute of Geography SB RAS, 2016, p. 199–203. (In Russian)
- Pshegusov R.KH., Tembotova F.A., Sablirova Yu.M. [The main regularities of the spatial localization of various types of the coniferous forests of the Western Caucasus by remote sensing], *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyajstve i ekologii* [Aerospace methods and GIS-technologies in forestry, forest management and ecology], proceedings of the VII All-Russian Conference, Moscow, Russia, April 22–24, Moscow, CEPF RAS Publ., 2019, p. 84–88. (In Russian)
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The Intcal 20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal ka BP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 4, p. 725–757, DOI: 10.1017/RDC.2020.41.
- Ryabogina N.E., Idrisov I.A., Borisov A.V. et al. Swamps of East Caucasus as high resolution archives of paleogeographical information, *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 2, p. 85–94. (In Russian)
- Ryabogina N.E., Nasonova E.D., Borisov A.V., Idrisov I.A. [Changes in the vegetation of Dagestan in the Holocene (according to pollen data from mountain and plain peat archives)], *Dinamika ekosistem v golotsene* [Ecosystems Dynamics in the Holocene] (dedicated to the 100th anniversary of L.G. Dinesman), Proceedings of the V Russian Scientific Conference with International Participation, A.B. Savinetsky (ed.), Moscow, Media-PRESS Publ., 2019, p. 288–289. (In Russian)
- Sablirova Y.M. [Birch forests with *Betula raddeana* Trautv. in Teberdinsky National Park], *Teoreticheskie i prikladnye aspekty organizatsii, provedeniya i ispolzovaniya monitoringovykh nablyudenij* [Theoretical and applied aspects of the organization, conduct and use of monitoring observations], proceedings of the international conference: dedicated to the 95th anniversary of the birth of Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus E.A. Sidorovich (Minsk, March 9–10, 2023), Nat. acad. sciences of Belarus, Zh.A. Rupasova et al. (eds.), Minsk, IVTs of the Ministry of Finance Publ., 2023, p. 277–280. (In Russian)
- Serebryannyi L.R., Gei N.A., Dzhinoridze R.N. et al. Rastitelnost tsentralnoj chaste vysokogornogo Kavkaza v golotsene [Vegetation of central part of alpine Caucasus in Holocene], *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*, 1980, no. 50, p. 123–137. (In Russian)
- Serebryannyi L.R., Golodkovskaya N.A., Orlov A.V. et al. *Kolebaniya lednikov i protsessy morenonakopleniya na Tsentral'nom Kavkaze* [Oscillations of glaciers and processes of moraine accumulation in the Central Caucasus], Moscow, Nauka Publ., 1984. (In Russian)
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L., Kvavadze E. *The history of the flora and vegetation of Georgia*, Tbilisi, Georgian National Museum Publ., 2011, 200 p., DOI: 10.1007/978-3-642-29915-5_2.
- Tvalchrelidze M., Lebanidze Z., Jaoshvili G. Eustatics of the Black Sea and sedimentation peculiarities during the last 20 000 years (Georgian sector of the Black Sea), *Proceed. of Geological Institute, Georgian Academy of Sciences, New series*, 2004, vol. 119, p. 656–670.
- Zernov A.S. *Flora Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Flora of the Northwestern Caucasus], Moscow, Tovarishchestvo nauchn. publ. KMK Publ., 2006. (In Russian)

Received 16.01.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 26.06.2024