

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫХ ОБСТАНОВОК ЭКЗОГЕННОГО РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТКИ ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА

© 2021 г. Е. О. Мухаметшина^{1,*}, Е. А. Зеленин², И. Ф. Пендеа³

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия

² Геологический институт РАН, Москва, Россия

³ Университет Лэйкхэд, Ориллиа, Канада

*E-mail: eomukhametshina@igras.ru

Поступила в редакцию 01.03.2021 г.

После доработки 06.05.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

Проведен спорово-пыльцевой анализ озерных и субаэральных отложений опорного разреза Камплен в Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Полученные материалы позволили реконструировать обстановки рельефообразования в ЦКД в позднем плейстоцене, позднеледниковые и при переходе к голоцену, что существенно продлевает в прошлое палеогеографическую летопись, разработанную для голоцена Камчатки. Установлено, что после 18 тыс. л.н. в условиях относительно холодного климата на водосборе палеозера, заполнявшего ЦКД в последнее оледенение, были распространены открытые ландшафты с преобладанием разнотравно-злаковых сообществ. Присутствие пыльцы древесных и теплолюбивых водных растений указывает на ограниченные масштабы горно-долинного оледенения. В рассматриваемое время был выявлен период похолодания 15–13 тыс. л.н., проявившийся в разрежении растительного покрова, но не приведший к значительному расширению ледников. После 13 тыс. л.н. потепление климата при постепенной деградации ледников привело к восстановлению хвойных лесов на водосборе палеозера. Спуск озера около 11.5 тыс. л.н. и начало накопления субаэральных отложений в районе изученного разреза приблизительно соответствуют нижней границе голоцена, что подтверждает ключевую роль климата в этапности рельефообразования ЦКД в рассматриваемый период.

Ключевые слова: Камчатка, плейстоцен, голоцен, реконструкция растительности

DOI: 10.31857/S0435428121040076

ВВЕДЕНИЕ

На рубеже позднего плейстоцена и голоцена происходили наиболее резкие изменения климата и природной обстановки во всем Северном полушарии, в том числе на северо-востоке Азии. Несмотря на то что эти климатические изменения ярко выражены в ледовых ядрах полярных районов и в морских осадочных колонках, континентальные осадки этого времени для западной Берингии, включая Камчатку, изучены слабо. Последние крупные исследования для эпохи позднеплейстоценового оледенения на Камчатке проводились около 50 лет назад [1–3], когда возможности датирования осадков были далеки от современных. В 2014–2019 гг. в пределах Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) нами и нашими коллегами были обнаружены и описаны отложения озера, предположительно заполнявшего ЦКД в позднем плейстоцене [4]. Настоящее исследование содержит первые данные спорово-

пыльцевого анализа отложений этого озера на рубеже позднего плейстоцена и голоцена. Полученные материалы позволяют выделить и датировать основные этапы перестройки экзогенных рельефообразующих процессов, запечатленные в ранее не исследованных палеоархивах природной среды плейстоцена Камчатки.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемый регион – часть активной континентальной окраины на стыке Азиатского континента и Тихого океана. Крупнейшим элементом современной морфоструктуры Камчатки является ЦКД, обрамленная с востока и запада Восточными хребтами и Срединным хребтом соответственно (рис. 1). Общая ее длина достигает 450 км, а максимальная ширина – 80–90 км. Эта депрессия имеет асимметричное строение с пологим

западным и крутым восточным бортом р. Камчатка — крупнейшего водотока ЦКД и Камчатки в целом. Река протягивается вдоль ЦКД, а в нижнем течении поворачивает на восток и пересекает хр. Кумроч.

Широтное положение полуострова, а также влияние холодных морей и холодных течений, обусловили довольно суровый климат Камчатки, однако эти же факторы способствовали формированию типично морского климата полуострова. ЦКД, ввиду высокой изолированности от морских воздушных масс, характеризуется наибольшей континентальностью климата по сравнению с остальным полуостровом. Зимой здесь наблюдаются самые низкие температуры, средняя температура января составляет -28°C , а лето более теплое, чем на побережье, средняя температура июля $+16^{\circ}\text{C}$ [5]. Осадков сюда, ввиду защищенности от проникновения насыщенных влагой воздушных масс с востока, поступает также меньше, около 400 мм в год. В режиме увлажнения в пределах депрессии выражены засушливый весенне-летний и дождливый летне-осенний периоды.

Влажный морской климат, активная вулканическая деятельность и преобладание горного рельефа обусловили высокое разнообразие флоры и растительности Камчатки. В ЦКД распространены редкостойные леса из лиственницы (*Larix cajanderi*) и, в виде отдельных небольших ареалов, из ели (*Picea ajaensis*). Лиственничники занимают наибольшие площади в днище депрессии, поднимаясь по склонам обычно до 500–600 м [6]. Горные склоны покрыты каменноберезняками (*Betula Ermanii*). На верхней границе леса в кустарниковом поясе доминируют кедровый стланик (*Pinus pumila*), ольховник (*Alnus fruticosa*, или *Duschekia fruticosa*), береза тощая (*Betula exilis*). Еще выше, в альпийском поясе господствуют тундровые ценозы: луговинные, кустарничковые, каменистые, лишайниковые и моховые тундры. Пойменные территории заняты ивами, тополем (*Populus suaveolens*), чозенией (*Chosenia arbutifolia*), ольхой (*Alnus hirsuta*), черемухой (*Padus avium*). Кроме того, по долинам рек и ручьев можно встретить типичные луговые заросли крупнотравья, высотой до 3 м [6].

Масштабные и детальные исследования региона, посвященные палеогеографии и стратиграфии рыхлых отложений, проводились, главным образом, в XX веке С.Л. Кушев и Ю.А. Ливеровский предположили существование в депрессии двух крупных озерных плейстоценовых водоемов: доледникового и межледникового [7]. Позднее эти работы были продолжены О.А. Брайцевой и соавт. [2], отметившими связь межледниковых условий с расширением площадей темнохвойных лесов и появлением во флоре элементов, чуждых

ей в настоящее время. Во время похолоданий происходило сокращение площади лесных ценозов при расширении болотных, луговых и тундровых сообществ [2]. Н.П. Куприна подчеркивала, что даже межледниковые палинофлоры имеют довольно “холодолюбивый” облик, из-за чего в более ранних работах было высказано мнение о единстве двух фаз позднеплейстоценового оледенения [1].

Осадки второй стадии позднеплейстоценового оледенения описаны в работах Н.П. Куприной [1], О.А. Брайцевой и соавт. [2], Л.А. Скибы [3] и других авторов. Их анализ показал, что они накапливались в тундровых холодных условиях. Л.А. Скиба пишет, что в это время преобладали открытые пространства, занятые лугами и осоковыми болотами с *Betula exilis* [3]. Встречались тундровые виды *Selaginella sibirica* и *Lycopodium alpinum*, *Armeria sibirica*. К сожалению, в большинстве работ даются только перечисление обнаруженных таксонов и общая характеристика пыльцевых комплексов, поскольку отложения позднего плейстоцена и позднеледниковья не содержат пыльцу в достаточном количестве для построения спорово-пыльцевых диаграмм. Л.А. Скиба также отмечает, что во время ледникового этапа в рефугиумах сохранялась ель, и в послеледниковое время она снова распространилась на всей территории ЦКД; во время последнего межледниковья ель имела еще более широкий ареал [3].

В настоящее время продолжается изучение изменений растительности и климата Камчатского полуострова и Западной Берингии [8–11], хотя большая часть работ посвящена голоценовым событиям.

В 2014–2019 гг. в пределах Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) нами и нашими коллегами было впервые обнаружено и описано несколько десятков разрезов озерных отложений [4]. Все эти отложения залегают непосредственно под голоценовым почвенно-пирокластическим чехлом и содержат большое количество прослоев вулканического пепла (тефры), что позволило напрямую скоррелировать их между собой. Изучение этих разрезов позволило нам обосновать существование в ЦКД обширного ледниково-подпрудного озера.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами исследованы отложения, обнажающиеся на береговом обрыве Ключевского озера, расположенного в пойме реки Камчатка у северного подножия Ключевской группы вулканов (рис. 1) в 9 км к востоку от пос. Ключи. Разрез был впервые описан и опубликован нашим коллективом [4] под названием КамPlen (далее Камплен).

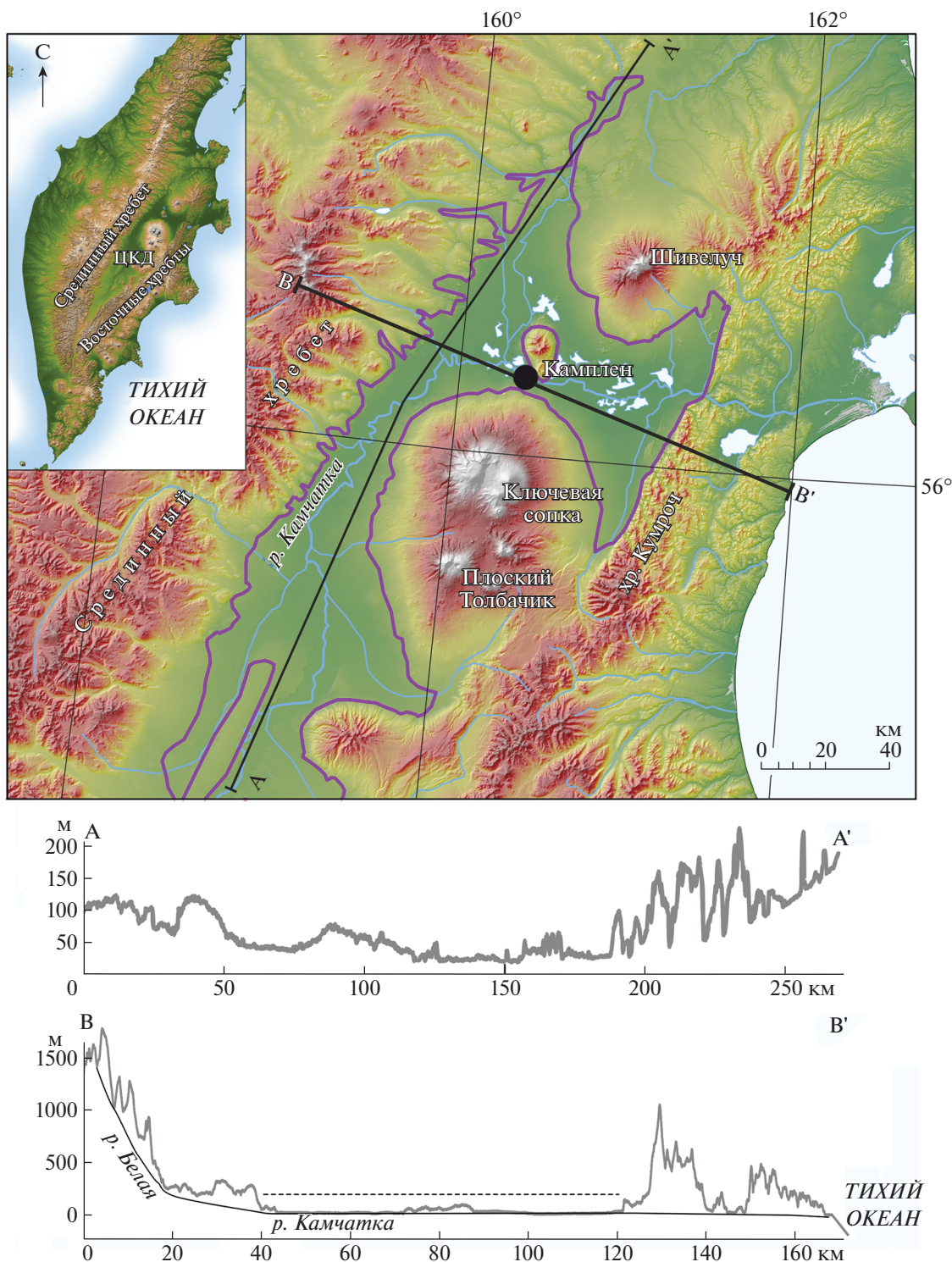


Рис. 1. Положение разреза Камплен относительно современного рельефа и эрозионной сети. Фиолетовой линией показан контур позднеледниковой озера по [4]. В нижней части рисунка показаны гипсометрические профили по линиям А–А' и В–В' с линиями тальвегов, построенные по данным SRTM.

Исследуемый нами разрез вскрывает слабонаклонную поверхность у северо-восточного подножия Ключевской группы вулканов на высоте 21 м над у.м. В литературе эта территория и гене-

зис слагающих ее осадков интерпретируются по-разному: как делювиально-пролювиальный [12], озерный [7], делювиально-солифлюкционный [1]. В.В. Пономарева и соавт. [4] предположили, что



Рис. 2. Фронтальная фотография и основные элементы разреза Камплен.

1 – почвенно-пирокластический чехол; 2 – тонкослойные озерные суглинки с прослоями пепла. Двойной линией показана подошва пепла Хангар (КНГ).

данные отложения имеют озерный генезис и могли накапливаться в крупном приледниковом бассейне, который, по-видимому, существовал в ЦКД во время всего последнего оледенения (МИС 2) вплоть до начала голоцена. Этот возраст подтверждается радиоуглеродными и тефрохронологическими датировками [4].

Разрез сложен суглинками светло-палевого цвета с частыми прослоями вулканических пеплов мощностью от 0.5 до 4 см (рис. 2), которые подчеркивают спокойное равномерное осадконакопление. В верхней части разреза, с глубины 95 см, они перекрыты почвенно-пирокластическим чехлом. В подошве разреза обнажаются лавы Ключевской группы вулканов.

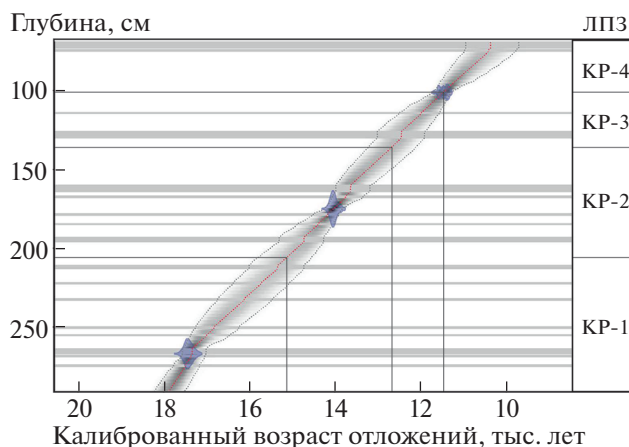


Рис. 3. Возрастная модель части разреза Камплен для глубин 71–289 см, рассчитанная в пакете Bacon [15] по возрастам из [4].

Центральная штриховая линия – средние значения возраста, оттенками серого показано убывание вероятности с удалением от среднего, серые штриховые линии ограничивают диапазон 95% вероятности. Серыми горизонтальными полосами показаны глубины и мощности горизонтов тефры. ЛПЗ – локальные пылецевые зоны.

Общая мощность осадков, вскрытых разрезом Камплен, превышает 10 м от забоя до слоя тефры извержения вулкана Хангар (КНГ), пепел которого широко распространен и датируется 7872 ± 50 л.н. по данным изучения ледяных кернов Гренландии (GICC05) [13]. Это один из ярких маркирующих горизонтов в ЦКД [14], и его подошва принята за верхнюю точку отсчета глубины в исследованном разрезе Камплен. Из разреза получено 10 радиоуглеродных датировок методом ускорительной масс-спектрометрии (УМС), выполненных в лаборатории Beta Analytic (Майами, США), которые, вместе с датой для пепла КНГ, позволили рассчитать возрастную модель разреза Камплен в пакете Bacon [15]. Возрастная модель всего разреза была опубликована нами ранее [4], однако, для целей настоящего исследования зависимость возраст – глубина была рассчитана повторно и детализована для интервала глубин 71–289 см (рис. 3), соответствующих возрасту 17.9–10.5 тыс. л.н. (здесь и далее возраст приводится в виде точечного значения среднего возраста в калиброванных радиоуглеродных годах). На наш взгляд, это особо интересный и слабо изученный интервал для Центральной Камчатки.

Анализ графика скорости осадконакопления за вычетом видимых пеплопадов (рис. 3) показал, что на протяжении всего рассмотренного периода скорости оставались примерно одинаковыми. Самая нижняя часть отложений, имеющая возраст более 17 тыс. л.н., показывает немного повышенные значения (0.38 мм/год) по сравнению с

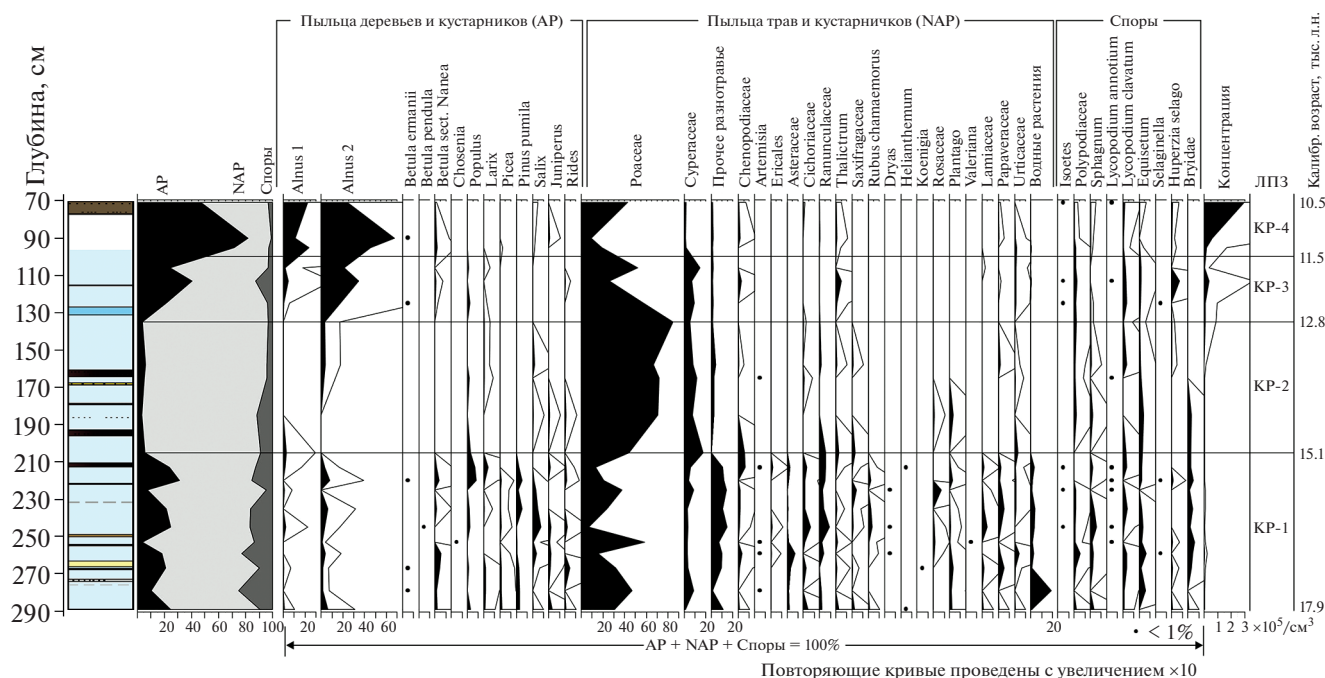


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма по озерным суглинкам разреза Камплен на глубинах 71–289 см. На колонке отложений белым цветом изображены субэаральные отложения, голубым – озерные осадки, черные прослои – тефра.

осадками, накопление которых происходило на более поздних этапах. Можно полагать, что это связано с активным поступлением рыхлого материала в приледниковый бассейн во время таяния ледников, а также с немного повышенной вулканической активностью между 27 и 17 тыс. л.н. [4]. Позднее скорости аккумуляции обломочного материала были практически неизменными вплоть до голоцена – около 0.25 мм/год.

Образцы на спорово-пыльцевой анализ отбирались с шагом в 5 см. Лабораторная подготовка образцов для пыльцевого анализа проводилась на базе лаборатории университета Лэйкхед в Канаде (Lakehead University Orillia, Canada) по стандартной методике с применением HCl, KOH, HF и с выполнением ацетолиза. Минеральная часть осадка была отделена с помощью сит с размером ячеек 150 и 10 мкм. Обработку проходили пробы объемом 1.5–2 мл, в каждую из которых добавлялась 1 таблетка специально обработанных спор *Lycopodium* для дальнейшего подсчета концентрации пыльцевых зерен. Анализ проводился на микроскопе Motic VA-310 с использованием увеличения $\times 200$ для поиска пыльцы и $\times 400$ для выявления деталей. Для каждого образца подсчитывалось по возможности не менее 120–150 пыльцевых зерен для позднего плейстоцена и 300–500 зерен для голоцена.

РЕЗУЛЬТАТЫ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА

На пыльцевой диаграмме (рис. 4) показаны основные результаты анализа озерных суглинков и субэаральных осадков из разреза Камплен в интервале глубин 71–289 см, соответствующих возрасту 17.9–10.5 тыс. л.н. Процентное содержание пыльцы каждого из таксонов рассчитано от общей суммы пыльцы и спор в образце и представлено на диаграмме (рис. 4).

При анализе спорово-пыльцевых проб было встречено две разновидности пыльцы *Alnus*, обозначенные на диаграмме *Alnus 1* и *Alnus 2*. *Alnus 1* по морфологии сходна с пыльцой древесных форм ольхи, а *Alnus 2* – кустарниковых. В настоящее время на территории Камчатского п-ова встречается только два вида ольхи: ольха волосистая (*Alnus hirsuta*) и ольха кустарниковая, или ольховник (*Alnus fruticosa*) [16]. В зарубежных литературных источниках соответствующие пыльцевые таксоны обычно называются *Alnus/Alnus incana* (*Alnus 1*) и *Duschekia kamchatica/Alnus viridis* (*Alnus 2*) [8–10], а в отечественной литературе – *Alnus* (*Alnus 1*) и *Alnaster* (*Alnus 2*) [1, 3, 17]. По аналогии с современной флорой Камчатки мы предполагаем, что *Alnus 1* соответствует виду ольха волосистая (далее – ольха), а *Alnus 2* – ольха кустарниковая (далее – ольховник). Однако детальных морфологических работ на данную тему не проводилось.

По изменениям пыльцевых спектров и состава ископаемой палинофлоры на спорово-пыльцевой диаграмме можно выделить 4 локальных палинозоны (ЛПЗ) (рис. 4). Временные рамки, соответствующие каждой ЛПЗ, определены по кривой глубина—возраст (рис. 3).

ЛПЗ КР-1 (289–205 см) характеризует временной промежуток 17.9–15.1 тыс. л.н. В общем составе спектров преобладает пыльца травянистых растений (Non-Arboreal Pollen – NAP) (53–87%), значительно меньше пыльцы деревьев и кустарников (Arboreal Pollen – AP) (4–31%), а также спор (5–25%). В группе деревьев и кустарников наблюдается большое таксономическое разнообразие. Преобладает пыльца *Populus* (до 8%), ольховника (*Alnus* 2–1.5–8%) и *Salix* (до 8%). Кроме того, встречается пыльца *Pinus pumila* (3–5.5%), *Betula sect. Nanae* (до 5.5%), *Juniperus* (до 3%). Прочие древесные таксоны представлены единичными пыльцевыми зернами (*Picea*, *Larix*, *Betula Ermanii*, *Betula pendula*, *Chosenia* и др.). В группе NAP доминирует пыльца злаков (от 6 до 58% спектра). Обильна также пыльца Сурегасеае и Ranunculaceae (до 9%). В целом для пыльцы травянистых растений характерны высокое разнообразие и присутствие таких холодолюбивых таксонов, как морошка (*Rubus chamaemorus*) – растение моховых болот, кенигия (*Koenigia*) – обитатель сырых тундр и солнцезвезд (*Helianthemum*) – типичный гелиофит. На долю пыльцы камнеломковых (Saxifragaceae) приходится до 4%. Среди спор преобладают *Sphagnum*, *Equisetum* и споры зеленых мхов (Bryidae) – до 6% спектра; прочие споры встречаются единично. В небольшом количестве обнаружена также пыльца ряда водных растений. В среднем в образцах данной палинозоны на 1 см³ приходится около 800 пыльцевых зерен (концентрация колеблется от 450 до 2100 зерен на 1 см³).

ЛПЗ КР-2 соответствует глубинам 205–135 см (15.1–12.8 тыс. л.н.). Для нее характерно абсолютное доминирование пыльцы травянистых растений (85–93%), главным образом, Роасеае (67–85%). На долю пыльцы древесных таксонов приходится всего 3–6%, а на споры – 3–11%. Важно отметить, что для этой палинозоны характерна наиболее низкая концентрация пыльцы по сравнению со всем остальным исследованным интервалом, в среднем на 1 см³ осадка приходится 400 пыльцевых зерен. Из всей группы AP в этой ЛПЗ только содержания пыльцы ольховника (*Alnus* 2) и тополя (*Populus*) достигают первых процентов, остальные находки единичны. В группе NAP наиболее обильна пыльца Сурегасеае (5–17%), при незначительном участии Chenopodiaceae, *Thalictrum* и Saxifragaceae (до 3%). В группе споровых растений наиболее многочисленными оказались *Equisetum* (1.5–4.2%) и Bryidae (2.5–3.2%).

Спорово-пыльцевые спектры на глубинах 135–100 см относятся к **ЛПЗ КР-3** (12.8–11.5 тыс. л.н.).

Для этой зоны также характерно преобладание пыльцы травянистых растений (47–75%), но при этом доля AP возрастает с 5 до 40% в ее верхней части, а доля спор составляет 4–12%. Группа AP представлена в основном ольховником (18–35%) и в меньшей степени – древесной формой ольхи (не более 5% спектра). Кроме того, встречается пыльца хвойных пород деревьев – *Larix*, *Picea*. Содержание пыльцы этих бореальных видов также увеличивается по сравнению с ЛПЗ КР-2. В группе травянистых продолжает доминировать пыльца Роасеае, хотя ее доля снижается с 84 до 26%, на втором месте содержания пыльцы Сурегасеае (5–10%). Среди спор наибольшая доля приходится на Polypodiaceae, *Lycopodium clavatum* и *Equisetum* (по 2–3%). В одном образце выделяется баранец обыкновенный (*Huperzia selago*), содержание спор которого достигает 7%. Встречаются единичные зерна пыльцы рогоза (*Typha*) и спор полушника (*Isoetes*). Концентрация пыльцевых зерен по сравнению с КР-1 и КР-2 ЛПЗ растет от 450 зерен на 1 см³ в нижней части ЛПЗ КР-3 до 8–9 тыс. в верхней части.

ЛПЗ КР-4 характеризует, главным образом, субэаральные осадки на глубинах 100–71 см, представленные супесью от светло-коричневого до темно-серого цвета с высоким содержанием вулканического пепла. Временной интервал накопления этого слоя по нашим оценкам составляет 11.5–10.5 тыс. л.н. Спектры в ЛПЗ КР-4 характеризуются высокой долей пыльцы древесных пород (46–81%), на долю NAP приходится 17–49%, а на споры – 1–3%. В группе AP доминирует пыльца ольхи и ольховника (в сумме до 77% спектра). Травянистые растения представлены, главным образом, Роасеае (9–43%), редко встречается пыльца Caryophyllaceae и Сурегасеае (до 2%). В группе спор 1% приходится на *Lycopodium clavatum*, а все остальные находки единичны. Концентрация пыльцы в данном интервале продолжает расти и достигает 300 тыс. пыльцевых зерен на 1 см³ у верхней кромки исследуемой части разреза Кампен.

ДИСКУССИЯ. ОБСТАНОВКИ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ В ЦКД С ПОЗДНЕГО ПЛЕНИГЛЯЦИАЛА ДО РАННЕГО ГОЛОЦЕНА

Полученные палинологические данные свидетельствуют об этапности изменений растительности и климата центральной Камчатки в период 17.9–10.4 тыс. л.н. Эти изменения, безусловно, влияли на спектр и интенсивность рельефообразования процессов исследуемого времени. В соответствии с выделенными локальными палинозонами, полученные результаты могут быть интерпретированы следующим образом:

ЛПЗ КР-1. Вплоть до 15 тыс. л.н. в долине р. Камчатки существовал обширный озерный бассейн, окруженный открытыми злаково-разнотравными сообществами с небольшим участием кустарников. Очень низкая концентрация пыльцы деревьев свидетельствует об ограниченной роли древесной растительности. Более того, современные спорово-пыльцевые спектры [18] говорят о завышении доли пыльцы кедрового стланика и ольховника в спектрах по сравнению с их участием в растительном покрове. Все это указывает на ограниченную роль ольховника в растительности этого интервала. Важно отметить присутствие в этом интервале единичных зерен пыльцы ели и лиственницы. Анализ рецентных спорово-пыльцевых проб почвы с надпойменной террасы р. Кабеку (левый приток р. Камчатки близ разреза Камплен) показал, что даже в лиственничном лесу, где *Larix* доминирует в древостое, на пыльцу лиственницы приходится всего 5% спектра. Данное несоответствие соотношения доли лиственницы в составе древостоя и содержания ее пыльцы в пыльцевых спектрах отмечается и другими исследователями [11, 19], поэтому даже незначительное присутствие пыльцы лиственницы может свидетельствовать о том, что массивы лиственничников, со смородиной, шиповником и спиреей в подлеске встречались на водосборе озера. Следовательно, во время максимальной фазы последнего оледенения лиственница и ель сохранялись в небольших рефугиумах в пределах ЦКД. Это позволяло им быстро распространяться, когда природные условия становились более благоприятными. Но единичный характер находок пыльцы хвойных пород указывает на их весьма ограниченную роль в растительности на исследуемой территории после максимума последнего оледенения. Кроме того, присутствие пыльцы холодолюбивых таксонов, таких как *Koenigia*, *Dryas*, *Ranunculus nivalis*-т., типичных для высокогорных ландшафтов, также свидетельствует о том, что климат этого времени был довольно холодным, но относительно последующего этапа более влажным.

В этом же слое обнаружена пыльца довольно теплолюбивых водных растений (*Nymphaea*, *Nuphar* и др.), встречающихся в настоящее время не севернее центральной Камчатки. В настоящее время кувшинка четырехугольная (*Nymphaea tetragona*) на Камчатке встречается, главным образом, в Юго-Восточной части полуострова в озерах, речных старицах и болотных мочажинах, хотя известна и в центральной Камчатке. Кубышка малая (*Nupharpumila*) растет в основном в центральной и южной Камчатке в озерах, старицах и речных заводях. Пыльца холодолюбивых таксонов, таких как *Koenigia*, *Dryas*, *Ranunculus nivalis*-т., по всей видимости, соответствует высокогорным ландшафтам в водосборе озера.

Таким образом, пыльцевые спектры рассматриваемого периода опровергают сценарии экстенсивного оледенения Камчатки в пленигляциале. Горно-долинные ледники были достаточно велики для блокирования современного стока ЦКД, однако, в депрессии сохранялись лесные сообщества. Принципиальная схема этого этапа в сопоставлении с последующими показана на рис. 5, а. Реконструкция проведена по интервалам, соответствующим выделенным пыльцевым зонам. На этом этапе в результате деятельности теплых ледников происходили активная экзарация и аккумуляция материала, а для крупного озера были характерны береговые процессы и относительно быстрое донное осадконакопление.

ЛПЗ КР-2. На раннем этапе позднеледниковья, 15.1–12.8 тыс. л.н., климат стал более сухим и, возможно, более континентальным. Древесные таксоны практически исчезли из состава палинофлоры, доля спор сократилась до 3–6% спектра. Преобладающую роль в растительном покрове играли травянистые сообщества, причем разнообразие пыльцы травянистых растений снизилось по сравнению с предыдущим интервалом. Концентрация пыльцы на этом этапе наиболее низкая для всего разреза. Все эти данные свидетельствуют о том, что растительность в это время была разреженной. Вероятно, по берегам водоема в наиболее защищенных местообитаниях все еще встречались небольшие “островки” лесов из тополя и лиственницы и заросли кустарников. В остальном вся прибрежная зона и склоны окружающих гор покрывала травянистая растительность с преобладанием злаков и, в меньшей степени, видов семейства осоковых. Пыльца относительно теплолюбивых водных растений, упомянутых выше, в этом слое не обнаружена. Возможно, изменения, наблюдаемые при переходе от ЛПЗ КР-1 к КР-2 около 15 тыс. л.н., указывают на снижение верхней границы леса и уменьшение площади распространения лесного (с елью, лиственницей и березой Эрмана) и кустарникового (с шиповником, спиреей, можжевельником) поясов вплоть до их исчезновения. При этом площадь злаково-разнотравных лугов возрасла.

Полученные данные подтверждают результаты исследования прибрежного разреза Крутоберегово на восточной Камчатке [11], где также 16–12.3 тыс. л.н. в спектрах доминировала пыльца травянистых растений. Среди древесных пород, как и в разрезе Камплен, в этом интервале преобладали такие таксоны, как ольховник, береза тощая, ива. В отличие от наших данных, в Крутоберегово в группе травянистых растений превалирует пыльца Сурегасеае, а не Роасеае, но данный факт, скорее всего, связан с прибрежным расположением исследуемой территории. Кроме того, также отмечается [10] высокое таксономическое

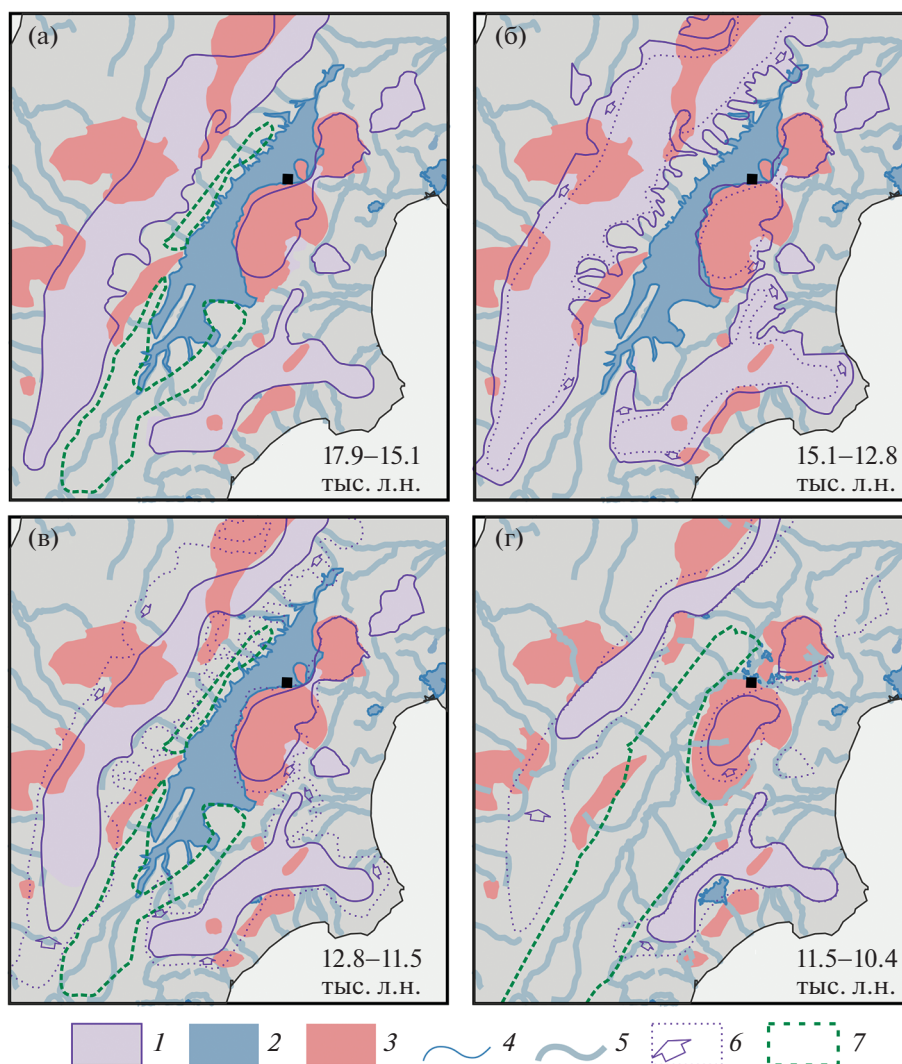


Рис. 5. Принципиальная схема динамики растительности и рельефообразующих процессов Центральной Камчатской депрессии в изучаемый период.

1–5 – области развития: 1 – гляциальных процессов горно-долинного оледенения, 2 – озерной аккумуляции, 3 – вулканической аккумуляции (в течение всего позднечетвертичного времени, по [21], 4 – озерных береговых процессов, 5 – флювиальных процессов в крупнейших речных долинах; 6 – динамика оледенения, 7 – контуры возможного распространения древесной растительности. Показанные контуры отражают масштаб и временную динамику рассматриваемых феноменов, но не их точное географическое положение.

разнообразие пыльцы травянистых растений, характерное для данной палинозоны при значительно пониженной концентрации пыльцы в осадке в целом, что было интерпретировано как признак относительно сухого и континентального климата. М. Эдвардс и соавт. [10], анализируя разрезы восточного и западного побережья Берингова моря, отмечают, что для Западной Берингии характерно преобладание степных и кустарниковых тундровых ландшафтов вплоть до 11.5 тыс. л.н., что также согласуется с полученными нами результатами. Кроме того, по данным [10], кустарниковые формы растений (ольховник,

ива, береза) были характерны для западной Берингии с 13 до 6 тыс. л.н.

Таким образом, этот этап был существенно суше и, вероятно, холоднее предыдущего, что привело к практически полному исчезновению древесных сообществ (рис. 5, б). Разреженный растительный покров способствовал интенсификации флювиальных и склоновых процессов, что, впрочем, не отразилось на скорости осадконакопления (см. рис. 3). В отсутствие данных о положении ледников и береговой линии озера из общих соображений можно ожидать выдвигания ледников. Однако масштабы оледенения были сопоставимы с предыдущим этапом, поскольку в исследуемом

разрезе у подножия крупнейших ледоёмов Шивелуча и Плоских сопок сохранилось нормальное озерное осадконакопление [4].

ЛПЗ КП-3 и 4 (12.8–10.4 тыс. л.н.) соответствуют заключительному этапу позднеледниковья и переходу к голоцену. На глубине 95 см (11.5 тыс. л.н.) озерные отложения в разрезе сменяются субэзральными, что маркирует время спуска крупного озера, занимавшего ЦКД, и начало формирования современной долины р. Камчатки. Согласно имеющимся геохронологическим данным (рис. 3), время этой смены приблизительно соответствует нижней границе голоцена.

Характерной особенностью КП-3 и особенно КП-4 является резкое увеличение доли ольховника в составе пыльцевых спектров, что, вероятно, может служить индикатором отступления ледников (рис. 5, в), приводившего к расширению площади субальпийских ценозов. Кроме того, заметен и рост количества пыльцы ольхи пушистой, что может свидетельствовать о снижении уровня озера. Вероятно, освободившиеся при этом участки зарастали влаголюбивыми пойменными лесами из тополя душистого и ольхи волосистой. Как и в ЛПЗ КР-1, доля пыльцы ольхи может быть завышена по сравнению с ее реальным участием в составе сообществ. Однако нельзя отрицать увеличение роли ольхи в растительности исследуемой территории. В этом интервале также найдены пыльца и споры прибрежных и водных растений (рогоз, полушник), но видовое разнообразие водной и прибрежной растительности по сравнению с ЛПЗ КР-1 существенно сократилось. Резкий рост концентрации пыльцы свидетельствует о значительном увеличении продуктивности растений, к которому, вероятно, привело потепление климата.

Подобные резкие изменения состава пыльцевых спектров примерно 11.5 тыс. л.н. фиксируют многие исследователи Западной Берингии. Возрастание доли кустарниковых форм ольхи и березы отмечается и в разрезе Крутоберегово [11], и в других разрезах западного побережья Берингова моря [10].

Крупнейшее изменение спорово-пыльцевых спектров на границе зон КП-3 и КП-4 соответствует спуску палеозера и смене озерных осадков в разрезе Камплен субэзральными (рис. 5, г). При этом доля локальных компонентов спектра возрастает [20]. Из-за близости по времени невозможно разделить последствия изменения климата на границе плейстоцена и голоцена и резкого спуска озера. Обе ЛПЗ отражают постепенное потепление, деградацию оледенения и расширение ареалов более теплолюбивых растительных сообществ. Резкое увеличение концентрации пыльцы в пробах из КР-4 отражает первичную сукцессию в бассейне спущенного озера.

ВЫВОДЫ

1. Полученные материалы позволили впервые реконструировать некоторые обстановки рельефообразования в ЦКД в позднем пленигляциале, позднеледниковье и при переходе к голоцену, что позволило существенно продлить в прошлое детальную палеогеографическую летопись, разработанную для голоцена Камчатки.

2. 15–18 тыс. л.н., в условиях относительно холодного и влажного климата на водосборе палеозера были распространены открытые ландшафты с преобладанием разнотравно-злаковых сообществ; в отдельных рефугиумах сохранялась бореальная флора, что не подтверждает экстенсивного оледенения Центральной Камчатки в этот период.

3. В интервале 15–13 тыс. л.н. растительный покров стал более разреженным из-за увеличения континентальности климата. На территории ЦКД преобладали травянистые сообщества с невысоким видовым разнообразием, древесная растительность практически исчезла. Однако сокращение растительного покрова сопутствовало лишь небольшому выдвиганию ледников, не отразившемуся ни в изменении типа осадконакопления, ни в его скорости.

4. После 13 тыс. л.н. потепление климата привело к деградации оледенения и расширению лиственных лесов на водосборе палеозера. Спуск озера около 11.5 тыс. л.н. и начало накопления субэзральных отложений в районе изученного разреза приблизительно соответствуют нижней границе голоцена, что является аргументом в пользу ледниковой гипотезы подпруживания палеозера.

БЛАГОДАРНОСТИ

Геоморфологические работы проводились в рамках Мегагранта (соглашение № 075-15-2021-599) “Палеоэкологические реконструкции как ключ к пониманию прошлых, текущих и будущих изменений климата и окружающей среды в России”. Биостратиграфические исследования были проведены по ГЗ № 0148-2019-0005 “Динамика и механизмы изменения ландшафтов, климата и биосферы в кайнозое, история четвертичного периода”. Авторы благодарят О.К. Борисову за помощь при написании данной статьи, а также рецензентов за ценные замечания и идеи по представлению результатов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куприна Н.П.* Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки // Труды ГИН АН СССР. 1970. Вып. 216. 148 с.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Луникина Е.Г.* Стратиграфия четвертичных отложе-

- ний и оледенения Камчатки. М.: Наука, 1968. 228 с.
3. *Скиба Л.А.* История развития растительности Камчатки в позднем кайнозое. М.: Наука, 1975. 72 с.
 4. *Ponomareva V., Pendea I.F., Zelenin E., Portnyagin M., Gorbach N., Pevzner M., Plechova A., Derkachev A., Rogozin A., and Garbe-Schönberg D.* The first continuous late Pleistocene tephra record from Kamchatka Peninsula (NW Pacific) and its volcanological and paleogeographic implications // *Quaternary Science Reviews*. 2021. Article 106838.
 5. *Атлас СССР*. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1983. 260 с.
 6. *Якубов В.В.* Растения Камчатки: полевой атлас. М.: Путь, истина и жизнь, 2007. 264 с.
 7. *Кушев С.Л., Ливеровский Ю.А.* Геоморфологический очерк Центральной Камчатской депрессии. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 87 с.
 8. *Dirksen V.* Holocene vegetation dynamics and climate change in Kamchatka Peninsula, Russian Far East // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2013. Vol. 190. P. 48–65.
 9. *Klimaschewski A., Barnekow L., Bennett K.D., Andreev A.A., Andr'ev E., Bobrov A.A., and Hammarlund D.* Holocene environmental changes in southern Kamchatka, Far Eastern Russia, inferred from a pollen and testate amoebae peat succession record // *Global and Planetary Change*. 2015. Vol. 134. P. 142–154.
 10. *Edwards M.E., Brubaker L.B., Lozhkin A.V., and Anderson P.M.* Structurally Novel Biomes: a Response to Past Warming in Beringia // *Ecology*. 2005. Vol. 86 (7). P. 1696–1703.
 11. *Pendea I.F., Ponomareva V., Bourgeois J., Zubrow E.B.W., Portnyagin M., Ponkratova I., Harmsen H., and Korosec G.* Late Glacial to Holocene paleoenvironmental change on the northwestern Pacific seaboard, Kamchatka Peninsula (Russia) // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 157. P. 14–28.
 12. *Брайцева О.А., Краевая Т.С., Мелекесцев И.В.* Наземные дельты Камчатки // *Геоморфология*. 1975. № 3. С. 51–59.
 13. *Cook E., Portnyagin M. V., Ponomareva V. V., Bazanova L.I., Svensson A., and Garbe-Schönberg D.* First identification of cryptotephra from the Kamchatka Peninsula in a Greenland ice core: Implications of a widespread marker deposit that links Greenland to the Pacific Northwest // *Quaternary Science Reviews*. 2018. Vol. 181. P. 200–206.
 14. *Певзнер М.М.* Голоценовый вулканизм Срединного хребта Камчатки // *Труды Геологического института*. Вып. 608. 2015. 252 с.
 15. *Blaauw M. and Christen J.A.* Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. Vol. 6. P. 457–474.
 16. *Якубов В.В., Чернягина О.А.* Каталог флоры Камчатки (сосудистые растения). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2004. 165 с.
 17. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В.* Четвертичные оледенения Центрально-Камчатской депрессии и их значение для расчленения молодых вулканогенных пород Камчатки // *Стратиграфия вулканогенных формаций Камчатки*. М.: Наука, 1966. С. 168–177.
 18. *Боярская Т.Д., Малаева Е.М.* Развитие растительности Сибири и Дальнего Востока в четвертичном периоде. М.: Наука, 1967. 201 с.
 19. *Jankovska V., Andreev A.A., and Panova N.K.* Holocene environmental history on the eastern slope of the Polar Ural Mountains, Russia // *Boreas*. 2006. Vol. 35 (4). P. 650–661.
 20. *Кабайлене М.В.* О дальности и количестве переноса пыльцы и особенностях периодизации пыльцевых диаграмм // *Проблемы периодизации плейстоцена*. Л.: Наука, 1971. С. 105–114.
 21. *Ponomareva V., Melekestsev I., Braitseva O., Churikova T., Pevzner M., and Sulerzhitsky L.* Late Pleistocene-Holocene Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific Region // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region*. 2013. P. 165–198.

Reconstruction of Late glacial conditions of exogenous landscape development in Central Kamchatka based on pollen analysis

E. O. Mukhametshina^{a, #}, E. A. Zelenin^b, and I. F. Pendea^c

^a *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

^b *Institute of Geology RAS, Moscow, Russia*

^c *Lakehead University, Orillia, Canada*

[#] *E-mail: eomukhametshina@igras.ru*

The paper presents the results of pollen analysis of lacustrine and subaerial deposits of the Kamplen section in the Kliuchevskoe Lake shoreline cliff in the Central Kamchatka depression (CKD). The obtained materials for the first time allowed to reconstruct in detail the conditions of landscape formation in CKD in the Late Pleni-Glacial, Late Glacial and transition to the Holocene, extending the paleogeographic record, developed for the Holocene of Kamchatka. It was found that after 18,000 BP, under relatively cold climate conditions in the paleo-lake watershed, which probably existed in the CKD during the entire last glaciation (MIS 2) up to the early Holocene, open landscapes with predominant herbaceous-grass communities were prevalent. Presence of boreal tree and warm-water aquatic plants pollen indicated the limitation of the alpine glaciation in the area. During 15–13 thousand BP the climate cooled, vegetation cover of the territory became sparser, but the change did not lead to extension of the alpine glaciation. After 13,000 BP, climate warming with gradual glacial degradation led to the expansion of larch forests in the paleo-lake watershed. Drainage of the lake

about 11.5 ka BP and the beginning of accumulation of subaerial deposits in the studied section approximately correspond to the lower boundary of the Holocene.

Keywords: Kamchatka, Pleistocene, Holocene, vegetation reconstruction

ACKNOWLEDGMENTS

The geomorphological study was funded by Megagrant project (agreement № 075-15-2021-599). The pollen analysis was funded by State Task No. 0148-2019-0005, Institute of Geography RAS. The authors thank O. K. Borisova for her help in writing this article, as well as the reviewers for their valuable comments and ideas on presenting the results of the study.

REFERENCES

1. Kuprina N.P. *Stratigrafiya i istoriya osadkonakopleniya pleistotsenovykh otlozhenii Tsentral'noi Kamchatki* (Stratigraphy and history of sedimentation in the Pleistocene sediments of Central Kamchatka). *Trudy GIN AN SSSR*. 1970. Vol. 216. 148 p. (in Russ.)
2. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Evteeva I.S., and Lupikina E.G. *Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii i oledneniya Kamchatki* (Stratigraphy of Quaternary deposits and glaciation of Kamchatka). Moscow: Nauka (Publ.), 1968. 228 p. (in Russ.)
3. Skiba L.A. *Istoriya razvitiya rastitel'nosti Kamchatki v pozdnem kainozoe* (History of Kamchatka vegetation development in the late Cenozoic). Moscow: Nauka (Publ.), 1975. 72 p. (in Russ.)
4. Ponomareva V., Pendea I.F., Zelenin E., Portnyagin M., Gorbach N., Pevzner M., Plechova A., Derkachev A., Rogozin A., and Garbe-Schönberg D. The first continuous late Pleistocene tephra record from Kamchatka Peninsula (NW Pacific) and its volcanological and paleogeographic implications. *Quaternary Science Reviews*. 2021. Article 106838.
5. *Atlas SSSR* (Atlas of the USSR). Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete ministrov SSSR, 1983 (in Russ.)
6. Yakubov V.V. *Rasteniya Kamchatki: polevoi atlas* (Plants of Kamchatka: a field atlas). Moscow: Put', Istina i Zhizn' (Publ.), 2007. 264 p. (in Russ.)
7. Kushev S.L. and Liverovskii Yu.A. *Geomorfologicheskii ocherk Tsentral'noi Kamchatskoi depressii* (Geomorphological essay of the Central Kamchatka depression). Moscow-Leningrad: AN SSSR (Publ.), 1940. 87 p. (in Russ.)
8. Dirksen V., Dirksen O., Diekmann. B. Holocene vegetation dynamics and climate change in Kamchatka Peninsula, Russian Far East. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2013. Vol. 190. P. 48–65.
9. Klimaschewski A., Barnekow L., Bennett K.D., Andreev A.A., Andr'en E., Bobrov A.A., and Hammarlund D. Holocene environmental changes in southern Kamchatka, Far Eastern Russia, inferred from a pollen and testate amoebae peat succession record. *Global and Planetary Change*. 2015. Vol. 134. P. 142–154.
10. Edwards M.E., Brubaker L.B., Lozhkin A.V., and Anderson P.M. Structurally Novel Biomes: a Response to Past Warming in Beringia. *Ecology*. 2005. 86(7). P. 1696–1703.
11. Pendea I.F., Ponomareva V., Bourgeois J., Zubrow E.B.W., Portnyagin M., Ponkratova I., Harmsen H., and Korosec G. Late Glacial to Holocene paleoenvironmental change on the northwestern Pacific seaboard, Kamchatka Peninsula (Russia). *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 157. P. 14–28.
12. Braitseva O.A., Kraevaya T.S., and Melekestsev I.V. *Nazemnye del'ty Kamchatki* (Terrestrial deltas of Kamchatka). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1975. Vol. 3. P. 51–59. (in Russ.)
13. Cook E., Portnyagin M. V., Ponomareva V. V., Bazanova L.I., Svensson A., Garbe-Schönberg D. First identification of cryptotephra from the Kamchatka Peninsula in a Greenland ice core: Implications of a widespread marker deposit that links Greenland to the Pacific Northwest. *Quaternary Science Reviews*. 2018. Vol. 181. P. 200–206.
14. Pevzner M.M. *Golotsenovyi vulkanizm Sredinnogo khrebra Kamchatki* (Holocene volcanism of Sredinny Range of Kamchatka). *Trudy Geologicheskogo instituta*. Vol. 608. 2015. 252 p. (in Russ.)
15. Blaauw M. and Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. 2011, Vol. 6. P. 457–474.
16. Yakubov V.V. and Chernyagina O.A. *Katalog flory Kamchatki (sosudistye rasteniya)* (Catalog of the Flora of Kamchatka (Vascular Plants)). Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchatpress (Publ.), 2004. 165 p. (in Russ.)
17. Braitseva O.A. and Melekestsev I.V. *Chetvertichnye oledneniya Tsentral'no-Kamchatskoi depressii i ikh znachenie dlya raschleneniya molodykh vulkanogennykh porod Kamchatki* (Quaternary glaciations of the Central Kamchatka depression and their significance for the dissection of young volcanogenic rocks in Kamchatka). *Stratigrafiya vulkanogennykh formatsii Kamchatki* (Stratigraphy of volcanogenic formations of Kamchatka). Moscow: Nauka (Publ.), 1966. P. 168–177 (in Russ.)
18. Boyarskaya T.D. and Malaeva E.M. *Razvitie rastitel'nosti Sibiri i Dal'nego Vostoka v chetvertichnom periode* (Vegetation changes in Siberia and the Far East in the Quaternary period). Moscow: Nauka (Publ.), 1967. 201 p. (in Russ.)
19. Jankovska V., Andreev A.A., and Panova N.K. Holocene environmental history on the eastern slope of the Polar Ural Mountains, Russia. *Boreas*. 2006. Vol. 35 (4). P. 650–661.
20. Kabailene M.V. *O dal'nosti i kolichestve perenosa pyl'tsy i osobennostyakh periodizatsii pyl'tsevykh diagramm* (Range and quantity of pollen transfer and the features of the periodization of pollen diagrams). *Problemy periodizatsii pleistotsena* (Problems of the Pleistocene periodization). Leningrad: Nauka (Publ.), 1971. P. 105–114. (in Russ.)
21. Ponomareva V., Melekestsev I., Braitseva O., Churikova T., Pevzner M., and Sulerzhitsky L. Late Pleistocene-Holocene Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific Region. *Volcanism and Subduction, The Kamchatka Region*. 2013. P. 165–198.