

ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА СЕВЕРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ[#]

© 2024 г. Е. О. Мухаметшина^{1,2,*}, М. Д. Щеклеина³, А. Л. Захаров^{1,2}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Геологический институт РАН, Москва, Россия

³Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, Москва, Россия

*E-mail: eomukhametshina@igras.ru

Поступила в редакцию 11.10.2023 г.

После доработки 02.09.2024 г.

Принята к публикации 25.09.2024 г.

Спорово-пыльцевой анализ разреза Кич в северной части Центральной Камчатской депрессии, дополненный данными литологического, тефрохронологического анализов и радиоуглеродного датирования, позволил выделить основные этапы в развитии растительности и климата этой части полуострова за последние 3 тыс. лет. Около 2.5 тыс. л. н. пойменные тополевые леса в долине р. Кич на фоне завершения похолодания сменились ольшаниками, ивняками; распространились каменноберезняки. В западине начало формироваться низинное осоковое болото. Около 1.9 тыс. л. н. вследствие серии извержений влк. Шивелуч и снижения влажности климата распространились вейниковые луга. Около 1.2 тыс. л. н. нарастание сухости климата привело к распространению каменноберезняков. Около 0.8 тыс. л. н. увеличились площади хвойных лесов на севере Центральной Камчатской депрессии, сначала листовенничных, а затем – еловых.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, динамика растительности, Камчатка, поздний голоцен, тефра

DOI: 10.31857/S2949178924040117, EDN: FFCQTI

1. ВВЕДЕНИЕ

Географическая изолированность Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) обеспечила особенности ее природных изменений в голоцене (Dirksen et al., 2013) и вызвала многолетний интерес к изучению четвертичной и голоценовой истории изменений климата и растительности ЦКД. Начиная с 30-х гг. прошлого века (Нейштадт и др., 1936), затем в 1960–1970-е гг. (Брайцева и др., 1968; Куприна, 1970; Скиба, 1975; Хотинский, 1977; Егорова, 1980) был описан ряд четвертичных и голоценовых палеоархивов (рис. 1). Они расположены в основном на западном побережье Камчатского п-ова, в центральной и южной частях ЦКД. С 1990-х гг. и до настоящего времени продолжается поиск новых разрезов. Некоторые из них охватили, наконец, север восточного по-

бережья Камчатки; несколько скважин было заложено в озерах Срединного хребта (рис. 1).

Несмотря на многочисленные исследования, северная часть ЦКД остается слабо изученным районом, поскольку ранее не было описано ни одного голоценового палеоархива для этой территории, исследованного методом спорово-пыльцевого анализа (рис. 1). Большая мощность торфяной толщи, вскрытой в скв. Кич (более 5 м), накопившейся менее чем за 3000 лет, обеспечила нам уникальные материалы для изучения позднеголоценовой истории северной части депрессии. Проведенный нами спорово-пыльцевой (СП) анализ, подкрепленный данными радиоуглеродного (¹⁴C) датирования и тефрохронологии, позволяет впервые охарактеризовать позднеголоценовую историю развития растительности севера ЦКД.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Своеобразный облик флоры Камчатки связан с географической изоляцией полуострова, которая препятствует миграции растений с континента. Срединный и Восточно-Камчатский хребты отде-

[#] Ссылка для цитирования: Мухаметшина Е.О., Щеклеина М.Д., Захаров А.Л. (2024). Изменения растительности и климата севера Центральной Камчатской депрессии в позднем голоцене. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 4. С. 177–191. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040117>; <https://elibrary.ru/FFCQTI>

ляют ЦКД от влажных и холодных океанических воздушных масс. В результате в ЦКД сформировался умеренно-континентальный климат, в отличие от океанического климата на побережьях. Средняя температура января в ЦКД составляет $-16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля $+15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Портал “Погода и климат”). Осадков на севере ЦКД выпадает значительно меньше, чем на побережье, около 650 мм в год.

В днище ЦКД распространены хвойные леса из ели аянской (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrère) и лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), образующие так называемый хвойный остров. Выше на склонах, обрамляющих депрессию хребтов, располагаются леса из каменной

березы (*Betula ermanii* Cham.) (Нешатаева, 2009). Субальпийский кустарниковый пояс представлен стланиковыми зарослями: на склонах Восточно-Камчатского хребта доминирует кустарниковая ольха (*Alnus alnobetula* subsp. *fruticosa* (Rupr.) Raus, далее – *A. alnobetula*), а на склонах Срединного хребта наряду с ней встречаются кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) и карликовая береза (*Betula glandulosa* Michx.). Альпийский пояс представлен разнообразными тундровыми фитоценозами от луговинных и кустарничковых до лишайниковых и моховых тундр. На сырых местообитаниях в поймах рек можно встретить тополевики из тополя душистого (*Populus suaveolens* Fisch.) с цезеиной толочнянколистной (*Chosenia arbutifolia* (Pall.)

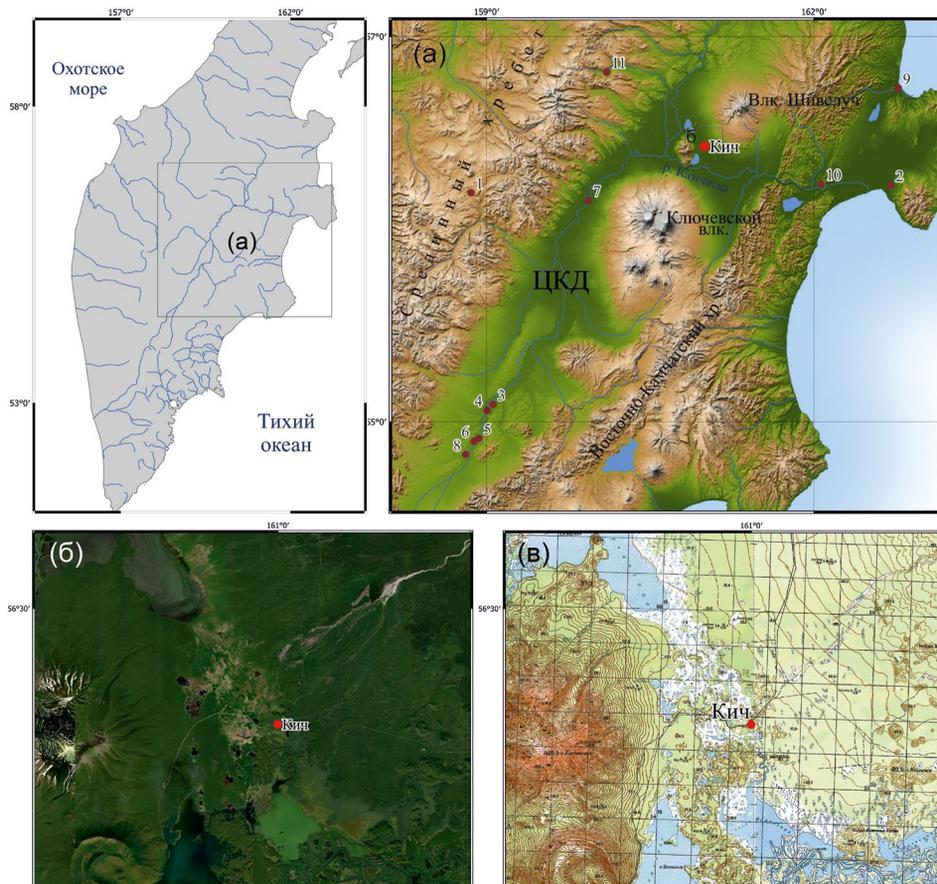


Рис. 1. Положение разреза Кич и исследованных ранее голоценовых разрезов (1-11) центральной и северной части полуострова относительно современного рельефа и эрозионной сети (а) и на космическом снимке (б) и топографической карте (в).

1 – Оливбэйкт (Self et al., 2015); 2 – Крутоберегово (Pendea et al., 2015); 3 – яр Недоступный; 4 – яр Большой; 5 – яр Крутой; 6 – яр Половинка (т. 3–6: Брайцева и др., 1968); 7 – Ушки (Ложкин, Слободин, 2012); 8 – Кирганинская тундра (Хотинский, 1977); 9 – Столбовая (Dirksen et al., 2013); 10 – Черный яр (Андреев, Певзнер, 2001); 11 – Двухьюртное оз. (Hoff et al., 2015).

Fig. 1. The position of the Kich core and the previously studied by other palynologists Holocene sections (1-11) of the central and northern parts of the Peninsula (a) and the position of the Kich section on the satellite image (б) and topographic map (в).

1 – Olive-backed Lake (Self et al., 2015); 2 – Krutoberegovo (Pendea et al., 2017); 3 – Nedostupny Yar; 4 – Bol'shoi Yar; 5 – Krutoi Yar; 6 – Polovinka Yar (sites 3–6: Braitseva et al., 1968); 7 – Ushki (Lozhkin, Slobodin, 2012); 8 – Kirganinskaya Tundra (Khotinsky, 1977); 9 – Stolbovaya (Dirksen et al., 2013); 10 – Cherny Yar (Andreev, Pevzner, 2001); 11 – Two-Yurts Lake (Hoff et al., 2015).

А.К. Skvortsov), ивами и ольхой волосистой (*Alnus hirsuta* (Spach) Rupr.) (Нешатаева, 2009).

Наша работа базируется на исследовании керна скв. Кич, которая расположена на севере ЦКД у юго-западного подножия влк. Шивелуч. Скважина была заложена в 17 км к СВ от пос. Ключи, в удлиненной межгорной впадине шириной до 5.5 км

между влк. Шивелуч и Харчинский (N 56.440725°, E 160.999789°, абс. высота 27 м). С юга впадина перегорожена позднеледниковой мореной ледника, выдвигавшегося со склона влк. Шивелуч в ЦКД (Zelenin et al., 2023). Относительная высота моренных холмов от уреза р. Камчатки достигает 20–25 м. Впадина дренируется небольшой р. Кич

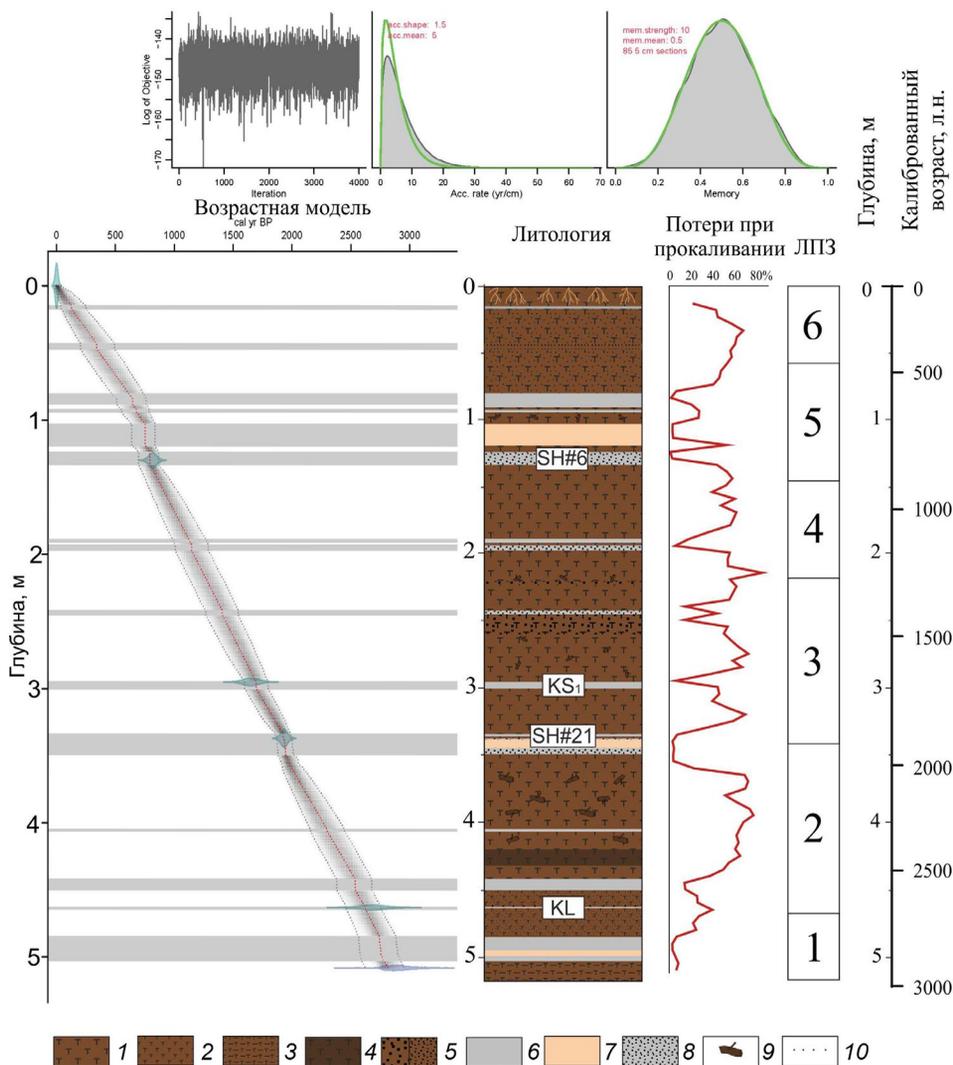


Рис. 2. Строение керна скважины Кич и его возрастная модель. 1–2 – торф средней (1) и высокой (2) степени разложения; 3 – оторфованный суглинок; 4 – темный, почти черный, прослой торфа; 5 – включения тephры разной крупности в торфяной толще, не образующие видимых прослоев; *прослой тephры*: 6 – мелко- и тонкозернистая сизовато-серая, 7 – персиково-бежевая мелко-тонкозернистая, 8 – крупно-грубозернистая (“соль с перцем”); 9 – крупные органические остатки; 10 – лапилли. На возрастной модели 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 тephры. ЛПЗ – локальные палинозоны (подробнее на рис. 5).

Fig. 2. The lithology of the Kich core and its age-depth model. 1–2 – medium (1) and highly (2) decomposed peat; 3 – peaty loam; 4 – dark, almost black, peat interlayer; 5 – different sizes tephra in the peat that does not form visible interlayers; *tephra interlayers*: 6 – fine grained light-gray, 7 – fine-grained peach colour, 8 – coarse sand tephra of “salt and pepper” colour; 9 – organic inclusions; 10 – lapilli. On the age-depth model, the central dashed line means the average age values, shades of gray show the probability decreasing with distance from the average, gray dashed lines limit the range of 95% probability. Gray horizontal stripes show the depths of the tephra horizons. ЛПЗ mean local pollen zones (see fig. 5).

Таблица 1. Радиоуглеродная датировка образца торфа из керна скв. Кич
Table 1. Radiocarbon dating of a peat sample from the core Kich

| № | Лабораторный номер | Глубина, м | Материал | ¹⁴ C возраст, л. н. (±1σ) | Калиброванный возраст, л. н. (±2σ) |
|---|--------------------|------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | IGAN-10341 | 5.0–5.15 | Гуминовые кислоты | 2780±80 | 2913±163 |

(левым притоком р. Камчатки) (рис. 1). Вдоль реки растут пойменные тополевики и ольшаники. В межморенных понижениях формируются болота и небольшие озера, а на склонах влк. Шивелуч и Харчинский произрастают лиственничные и березовые леса, выше – ельники.

Скважина Кич была заложена в межморенной западине, занятой осоково-болотнотравяным болотом, по краю которого произрастает ольшаник разнотравный из ольхи волосистой. В ней вскрыта толща торфа и оторфованного суглинка мощностью 5.15 м с многочисленными прослоями тефры (рис. 2). Первая пробная скважина была пробурена в 0.5 м от точки основного бурения. На глубине 4.8 м бурение пришлось остановить, так как пробоотборник вошел в обломочные отложения. Хотя при основном бурении нам не удалось вскрыть подстилающие породы, вероятно, их кровля располагается близко к забою скважины.

3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Бурение проводилось ручным буром марки Eijkelkamp пробоотборником русский торфяной бур, который имеет длину 50 см и ширину 5 см. Керны длиной по 0.5 м упаковывались на месте (рис. 3), а отбор образцов на СП и ¹⁴C анализы, анализы пеплов и потерь при прокаливании (ППП) проводился в лаборатории.

Пробы на СП анализ объемом 1 мл отбирались с промежутком 0.1 м, вне видимых прослоев пепла. Пробы на анализ ППП отбирались сплошным методом по 0.05 м. Верхние 0.15 м представлены неразложившимся живым мхом (очёсом). Его не удалось отобрать пробоотборником, поэтому СП анализу подвергались отложения с поверхности и далее глубже 0.15 м, а на ППП отбор начинался с глубины 0.15 м. Из подошвы торфа с глубины 5.0–5.15 м был взят образец на ¹⁴C датирование (табл. 1).

Анализ ППП и подготовка образцов для СП анализа проводились на базе лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН. Анализ ППП при температуре 550 °C для определения содержания органического материала выполнен в соответствии с общепринятой методикой (Heiri et al., 2001). Проанализировано 100 проб.

Подготовка образцов на СП анализ проведена по методике В.П. Гричука (Гричук, Заклинская, 1948) с использованием тяжелой жидкости ГПС-В. Ацетоллиз проводился с пропионовым ангидридом (Мазей, Новенко, 2021). В каждый образец было добавлено по одной таблетке с известным количеством спор *Lycopodium* для определения концентрации пыльцы и спор в осадках (Stockmarr, 1971). Названия растений приведены в соответствии с современной номенклатурой (IPNI).

Методом СП анализа было исследовано 47 образцов. При расчете процентных соотношений пыльцевых таксонов за базовую сумму принималась сумма пыльцы наземных растений (AP – Arboreal pollen, пыльца деревьев и кустарников; NAP – Non-arboreal pollen, пыльца трав и кустарничков). Доля спор и пыльцы водных растений высчитывалась относительно базовой суммы, к которой добавлялось количество пыльцы или спор рассматриваемой группы. Статистическая обработка результатов СП анализа и построение диаграммы проведены с использованием программы Tilia v.3.0.1 (Grimm, 1990), оформление диаграммы проводилось в программе Corel Draw. Определение степени статистической близости пыльцевых спектров для уточнения положения границ локальных пыльцевых зон (ЛПЗ) проведе-



Рис. 3. Керн скв. Кич с глубин 1–1.5 м. Переслаивание торфа и пепла различного состава.

Fig. 3. The core Kich from depths of 1–1.5 m. Peat with tephra layers.

но при помощи кластерного анализа в программе CONISS (Grimm, 1987).

^{14}C датирование проводилось на базе ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” ИГ РАН (табл. 1) с использованием жидко-сцинтилляционного метода (LSC). В качестве датирующей фракции использованы гуминовые кислоты (5.2 г), из которых было выделено 2.5 г бензола. Полученная дата откалибрована с помощью программы CALIB Rev 8.2 (Reimer et al., 2020). Определения возраста в тексте приводятся в виде калиброванных датировок до 1950 г. (л. н.).

Анализ состава вулканического стекла из десяти горизонтов тефры был проведен на микроанализаторе JEOL Superprobe JXA-8230 в лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе в 5 нА в соответствии с методикой (Kuehn et al., 2011); в качестве эталона использовались риолитовое стекло АТНО-G (Jochum et al., 2006), базальтовое стекло VG-A99 (Jarosevich et al., 1980) и скаполит Scar (Jarosevich et al., 1980). Для идентификации горизонтов тефры мы сравнивали полученные нами данные с ранее опубликованными для вулканических стекол из проксимальной пирокластике Камчатки (Portnyagin et al., 2020) и данного района (Ponomareva et al., 2015, 2017). Корреляции проводились с учетом полученной даты для основания керн, а также тефростратиграфии ближайшего к нашей скважине разреза почвенно-пирокластического чехла в пос. Ключи (Braitseva et al., 1997). Проведенные корреляции горизонтов тефры позволили перенести на изучаемый керн оценки возраста, полученные для них в других разрезах. Мы использовали возрастную модель для маркирующих горизонтов тефры Камчатки из работы (Ponomareva et al., 2017).

На основе данных ^{14}C датирования (табл. 1) и результатов тефрохронологического анализа (табл. 2, рис. 4) была построена байесовская возрастная модель (рис. 2) в пакете rBacon (Vlaauw et al., 2011). Временные границы ЛПЗ определены на основе возрастной модели (рис. 2).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Керн скв. Кич включает растительный оёс (0–0.15 м), средне- и сильно разложившийся торф (0.15–5.03 м) с видимыми прослоями пеплов, с повышенным содержанием обломков на глубинах 4.5–5.03 м и оторфованный суглинок (5.03–5.15) (рис. 2). На глубинах 4.2–4.32 м цвет торфа становится почти черным.

На графике, представляющем результаты анализа ППП (рис. 2), отчетливо видны пепловые

горизонты: на соответствующих глубинах доля органического вещества (ОВ) падает до 1–6%. Во вмещающем торфе содержание ОВ колеблется от 20 до 80% (в среднем 54%). В нижней части скважины (4.5–5.15 м) доля ОВ в осадках составляет не более 41% (в среднем 22%). Выше 4.5 м она резко увеличивается (в среднем до 67%, включая видимые прослой пепла). Выше 2.0 м содержание ОВ составляет в среднем 54%. На глубинах 0.8–1.35 м доля ОВ немного снижается из-за высокого содержания пепловых частиц в торфе.

В керне было выявлено 16 горизонтов тефры, различающихся по цвету, а также по крупности (от тонкозернистого песка до мелкого гравия), сортировке и составу частиц (рис. 2). Некоторые горизонты сближены между собой (например, три прослоя между 3.37 и 3.50 м) и, вероятно, отвечают одному извержению. Тефра сложена вулканическим стеклом, минералами и обломками пород в различных пропорциях. Образцы из восьми наиболее представительных тефр были выбраны для анализа вулканического стекла, состав которого используется для корреляции горизонтов тефр между разрезами (Lowe et al., 2011). Проанализировано 74 пробы, определено содержание главных и некоторых летучих элементов в индивидуальных частицах тефры.

На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$ видно, что стекла из тефры скв. Кич образуют три отчетливых группы (рис. 4). Первая группа попадает в поле умеренно калиевых андезибазальтов и включает стекла из самого древнего из проанализированных горизонтов 4.63–4.64 м. Вторая группа отвечает умеренно калиевым риолитам и объединяет стекла из горизонтов на глубинах 0.0–0.9, 1.03–1.19, 1.24–1.33, 1.93–1.97 и 3.55–3.57 м. Третья группа отвечает низкокалиевым риолитам и включает стекла из горизонта 2.95–3.0 м. Сопоставление этих составов стекол с опубликованными (Portnyagin et al., 2020) показывает, что тефры первой группы принадлежат влк. Ключевской, второй группы – влк. Шивелуч, а третьей – влк. Ксудач (рис. 4). С учетом общего возраста керн (~2900 лет по данным ^{14}C анализа) последний горизонт однозначно определяется как маркирующий пепел KS_1 (Braitseva et al., 1997) с возрастом 1651 ± 58 лет (табл. 2; Ponomareva et al., 2017; Portnyagin et al., 2020).

Составы стекол в многочисленных пеплах влк. Шивелуч в голоцене волнообразно изменяются, и пеплы разных возрастных интервалов могут иметь сходный состав (Ponomareva et al., 2015). Поэтому для идентификации пеплов этого вулкана необходимо привлекать данные об их стратиграфии, возрастном диапазоне, осях пеплопадов и

Таблица 2. Результаты идентификации горизонтов тефры из керна скв. Кич. Методика определения возраста горизонтов тефры описана в тексте

Table 2. Identification of tephra layers from the Kich core. Methods of tephra identification are described in the text

| № п/п | Положение в керне (глубина, м) | Описание* | Вулкан | Индекс извержения | Калиброванный возраст ($\pm\sigma$), л. н. |
|-------|--------------------------------|---|------------|--------------------------|--|
| 1 | 1.30–1.32 | Вулканический песок м/з-г/з цвета “соль с перцем” | Шивелуч | SH#6 (SH ₂) | 817 \pm 29 |
| 2 | 2.95–3.0 | Вулканический песок т/з-м/з сизовато-серый | Ксудач | KS ₁ | 1651 \pm 58 |
| 3 | 3.37–3.50 | Вулканический песок м/з-г/з стратифицированный | Шивелуч | SH#21 (SH ₃) | 1934 \pm 25 |
| 4 | 4.63–4.64 | Вулканический песок м/з-с/з темно-серый | Ключевской | Bulochka Cone | ~2700 |

Примечание. * – м/з – мелкозернистый, с/з – среднезернистый, г/з – грубозернистый вулканические пески. Индексы извержений по работам (Braitseva et al., 1997; Ponomareva et al., 2015; Portnyagin et al., 2020).

гранулометрии. Верхнюю грубозернистую тефру в керне скв. Кич можно сопоставить с верхней грубозернистой тефрой SH#6 (SH₂) в опорном разрезе пос. Ключи (Braitseva et al., 1997) с возрастом 817 \pm 29 лет (Ponomareva et al., 2017). Тефра влк. Шивелуч в интервале 3.37–3.50, залегающая под маркером KS₁, скорее всего, может быть скоррелирована с тефрой SH#21 (SH₃) с возрастом 1934 \pm 25 лет, ось пеплопада которой прошла через торфяник Кич (Braitseva et al., 1997; Ponomareva et al., 2017). Тефра на глубине 4.63–4.64 м представлена темно-серым мелко-среднезернистым песком, сложенным частицами шлака и минеральными зёрнами с присутствием оливина и плагиоклаза. По набору минералов и составу стекла он отвечает продуктам извержений влк. Ключевского (рис. 4) и ближе всего к тефре его побочного конуса Булочка с возрастом ~2700 лет (Bulochka Cone в статье Portnyagin et al., 2020). Это самые основные стекла в тефре влк. Ключевского в рассматриваемом интервале от KS₁ до 3000 л. н.

Таким образом, в дополнение к ¹⁴C дате для основания керна мы получили четыре возрастных привязки для изученных горизонтов пепла (табл. 1). Это позволило разработать возрастную модель (рис. 2). По ней можно определить средние скорости аккумуляции отложений за исследуемый период. Общий возраст толщи соответствует среднему приросту торфа 0.154 см/год (без учета видимых пепловых прослоев), в то время как средние скорости торфонакопления в голоцене в ближайших изученных торфяниках составляют 0.02 см/год (Захарихина, 2014).

По изменениям в процентных соотношениях компонентов спектров и с помощью программы для кластерного анализа CONISS (Grimm, 1987) были выделены 6 ЛПЗ (рис. 5).

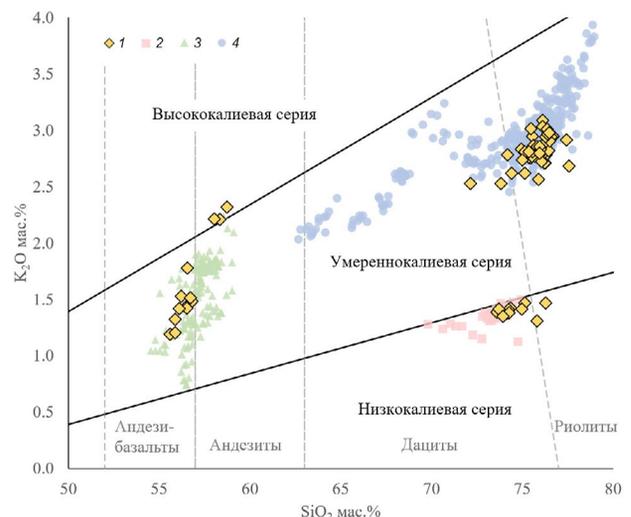


Рис. 4. Составы стекол тефры из разреза Кич и из проксимальной пирокластике ряда вулканов. Составы стекол из проксимальной пирокластике моложе 3000 лет по базе данных TephraKam (Portnyagin et al., 2020). Границы полей низко-, умеренно- и высококалийных составов показаны согласно работе (Gill, 1981). Границы полей андезибазальтов, андезитов, дацитов и риолитов показаны согласно диаграмме TAS (Le Maitre et al., 2005). 1 – Кич; 2 – влк. Ксудач; 3 – влк. Ключевской; 4 – влк. Шивелуч.

Fig. 4. Composition of glasses from tephra of the Kich core and from proximal pyroclastic deposits of selected volcanoes.

Composition of proximal glasses younger than 3 ka according to the TephraKam database (Portnyagin et al., 2020). Boundaries of low-K, medium-K and high-K fields according to Gill (1981). Boundaries of basaltic andesite, andesite, dacite and rhyolite fields according to Le Maitre et al. (2005).

1 – Kich; 2 – Ksudach; 3 – Klyuchevskoi; 4 – Shiveluch.

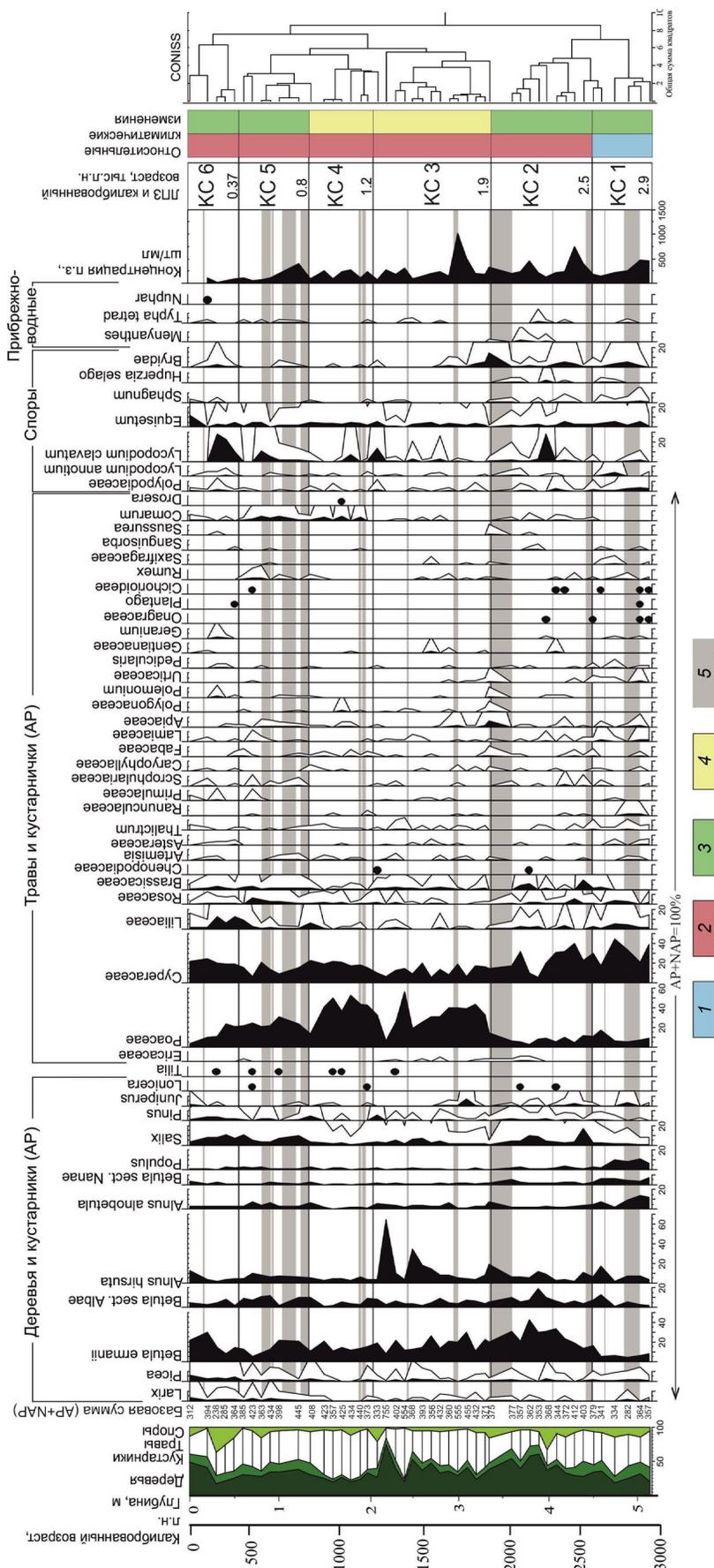


Рис. 5. Спорно-пылевая диаграмма торфа из керна скв. Кич, север Центральной Камчатской депрессии, п-ов Камчатка. Дополнительные кривые показывают увеличенные в 10 раз содержания пыльцы таксонов.

Климатические интервалы: 1 – относительно прохладные, 2 – относительно теплые, 3 – относительно влажные, 4 – относительно засушливые; 5 – прослой вулканического пепла.

Fig. 5. Pollen percentages diagram of Kich core, north of Central Kamchatka depression, Kamchatka Peninsula. ЛПЗ mean Local Pollen Assemblage Zones. Empty curves represent 10× exaggeration. Climatic intervals: 1 – cooler, 2 – warmer, 3 – wetter, 4 – drier, 5 – tephra layers.

4.1. ЛПЗ КС 1, 5.14–4.5 м (2.9–2.5 тыс. л. н.)

Спорово-пыльцевые спектры (СПС) зоны характеризуются невысоким содержанием пыльцы (далее – п.) деревьев и кустарников (42%). Пыльца трав и кустарничков составляет 47%. На споры приходится наименьшая доля СПС – 10%.

В группе AP доминирует п. *Alnus alnobetula* и *Populus* (до 14 и 11% соответственно). В значительном количестве содержится п. *Betula ermanii*, *B. sect. Albae* и *Alnus hirsuta* (до 8%, 13% и 17% соответственно). Гораздо меньше (до 1.5%) содержания п. хвойных деревьев – *Picea* и *Larix*.

В группе NAP абсолютно преобладает п. осоковых (Cyperaceae) (до 44%), на злаки (Poaceae) приходится 5–17%. Также относительно многочисленна п. лилейных (Liliaceae) и розоцветных (Rosaceae) – до 4.8 и 3.6% соответственно. Пыльца трав разнообразна и представлена единичными зернами п. лугового разнотравья: сельдерейных (Apiaceae), бобовых (Fabaceae), колокольчиковых (Campanulaceae), василистника (*Thalictrum*), яснотковых (Lamiaceae) и др., а также крапивы (*Urtica*). Обнаружена п. первоцветных (Primulaceae) и камнеломковых (Saxifragaceae). В группе споровых растений преобладают споры зеленых мхов (Bryidae) и хвощей (*Equisetum*). Споры многожизненных папоротников (Polypodiaceae) на этих глубинах наиболее многочисленны, хотя составляют небольшую долю СПС (не более 4%).

4.2. ЛПЗ КС 2, 4.5–3.35 м (2.5–1.9 тыс. л. н.)

В общем составе СПС преобладает п. деревьев и кустарников (53%), причем доля п. деревьев растет по сравнению с ЛПЗ КС 1. На травы и кустарнички приходится 37%, а на споры – 10%.

В первую очередь увеличение доли п. деревьев связано с заметным ростом доли п. *Betula ermanii*, на которую приходится 13–43%. Относительно многочисленна п. *Betula sect. Albae* (4–19%), и *Alnus hirsuta* (4–20%). По сравнению с ЛПЗ КС 1 доля п. кустарниковой ольхи, тополя и карликовой березы заметно снижается, в то время как доля п. ивы возрастает.

В группе трав и кустарничков по-прежнему преобладают осоки (6–40%), а злаки составляют 3–14%. Лилейные и розоцветные играют заметную роль (до 3 и 6% соответственно), увеличивается доля п. капустных (Brassicaceae) (до 20–24%), рогоза (*Typha*); появляется п. сабельника (*Comarum*) и сосюреи (*Saussurea*). Единично встречается п. верескоцветных (*Ericales*).

Доля спор варьирует в диапазоне от 4 до 15%, достигая 33% в одном образце. Снижается процент спор плауна годичного (*Lycopodium annotinum*) и многожизненных, а доля спор плауна булавовидного (*L. clavatum*), напротив, возрастает. Единично

встречаются споры сфагнома (*Sphagnum*) и баранца обыкновенного (*Huperzia selago*).

4.3. ЛПЗ КС 3, 3.35–2.1 м (1.9–1.2 тыс. л. н.)

Доля NAP в общем составе возрастает до 48%, а на AP приходится около 46% СПС. Споры немногочисленны: 6%.

Состав п. древесных пород почти не изменяется по сравнению с ЛПЗ КС 2. Преобладает п. *Betula ermanii* (до 30%). Немного растет доля п. *Alnus hirsuta* (до 34% и до 64% в одном образце). Пыльца можжевельника (*Juniperus*) в этой зоне встречается реже, ее доля снижается, составляя менее 1%. Впервые отмечаются редкие пыльцевые зерна липы (*Tilia*).

Наиболее заметная смена наблюдается в составе п. травянистых растений. Начинает преобладать п. злаков, их доля в составе СПС растет до 56%. Пыльца осоковых становится меньше (6–20%). Доля п. Liliaceae, Brassicaceae и Rosaceae также снижается и составляет не более 2%. Пыльца *Sanguisorba* (кровохлебки), *Saussurea*, Cichorioideae (цикориевых), Onagraceae (кипрейных) в ЛПЗ КС 3 отсутствует. Пыльца Ericaceae составляет менее 1% спектров.

4.4. ЛПЗ КС 4, 2.1–1.35 м (1.2–0.8 тыс. л. н.)

В этой палинозоне наблюдается высокая доля п. трав и кустарничков (62%), на п. деревьев и кустарников приходится 30%, а на споры – 8% СПС. В группе AP на фоне преобладания п. *Betula ermanii*, доля которой в среднем составляет 14%, доля п. *Alnus hirsuta* уменьшается до 6%. Содержание п. *Populus* увеличивается до 0.2–3%. Встречаются единичные зерна п. *Lonicera* (жимолости) и *Tilia*. Доли других древесных таксонов существенно не меняются.

Злаки остаются преобладающей группой среди трав и кустарничков, их доля в СПС достигает 52%. Содержание п. Cyperaceae в ЛПЗ КС 4 постепенно растет вверх по разрезу с 15 до 23%. Почти полностью исчезает п. Liliaceae и Brassicaceae. Заметно возрастает и достигает максимума для данного разреза (до 5%) доля п. *Comarum*. Пыльца *Thalictrum*, напротив, встречается на этих глубинах реже. Споры остаются малочисленными, но на общем устойчивом фоне немного повышается процент *L. clavatum*.

4.5. ЛПЗ КС 5, 1.35–0.5 м (0.8–0.4 тыс. л. н.)

В общем составе СПС снова растет доля п. деревьев и кустарников (43%), процент п. трав и кустарничков, немного снижаясь, остается высоким (47%). Споры составляют 10%.

Преобладающим древесным таксоном остается *Betula ermanii*, но ее доля снижается по сравнению с ЛПЗ КС 4 (до 22%). Растет доля п. ивы (*Salix*) и кустарниковой ольхи, которая также становится

довольно многочисленной, наряду с *Betula* sect. *Albae* и *Alnus hirsuta*.

В группе трав и кустарничков прослеживается ранее наметившаяся тенденция к снижению доли п. злаков. Доля п. осоковых при этом существенно не изменяется. Снова возрастает доля п. Liliaceae, Brassicaceae и Rosaceae, а также Scrophulariaceae (норичниковых), *Rumex* (щавеля) и *Artemisia* (полыни). Довольно высокой остается доля п. *Comarum*.

4.6. ЛПЗ КС 6, 0.5–0.0 м (0.4 тыс. л. н. – наст. вр.)

В общем составе СПС преобладает п. деревьев и кустарников; в верхнем образце ее доля возрастает до 43%. На травы и кустарнички приходится 39% спектров, а на споры 18%, что заметно выше, чем в предыдущих зонах. Наибольший процент от АР составляет *Betula ermanii*. Заметен также рост доли п. ели; высокой остается доля п. ивы.

В группе трав и кустарничков вновь преобладает п. Сурегасеае (19–25%); особенно велика ее доля в верхней пробе. Рост доли п. Сурегасеае сопровождается снижением доли п. Роасеае. Отмечена п. *Geranium* (герани) и *Saussurea*. Среди спор наиболее многочисленны *L. clavatum* и *Equisetum*; обильны также споры мхов *Bryidae*.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

5.1. Реконструкция изменений растительности и климата по данным исследования керна скважины Кич

Пыльца *Populus* обычно легко разрушается и плохо сохраняется в осадке. Обилие п. тополя в осадках нижней части скважины, образовавшихся около 3 тыс. л. н., свидетельствует об условиях, способствующих высокой пыльцевой продуктивности тополя и хорошей сохранности его п. Это говорит о произрастании тополя вблизи исследуемой точки во время накопления этих осадков. Учитывая высокую долю минеральных частиц (рис. 2) и обилие п. пойменных растений (рис. 5), можно предположить, что исследуемый участок располагался в пойме р. Кич, где произрастали тополевые леса с доминированием осок и разнотравья в травянистом покрове, и затапливался в половодье. Под пологом пойменных лесов также нередко развивается травянистый ярус из лугового разнотравья с участием герани, лилии, кровохлебки, золотарника (астровые) и крапивы (Нешатаева, 2009), что подтверждается заметным содержанием их п. в ЛПЗ КС 1. Климат на этом этапе был относительно прохладным и влажным (рис. 5), о чем свидетельствует в целом относительно низкая доля п. деревьев и кустарников и повышенное содержание п. ольховника.

Около 2.5 тыс. л. н. произошла смена природной обстановки. Доминирование тополя в составе окружающих лесов сменилось сначала преобладанием ольхи и ивы, а затем каменной березы с обильным осоково-разнотравным травянистым покровом и шиповником в подлеске. Такая сукцессионная смена характерна для влажных местообитаний в данном регионе (Нешатаева, 2009). Снижение доли минеральных частиц в осадке свидетельствует о том, что пойма стала реже затапливаться, и территория постепенно начала заболачиваться. Хотя п. каменной березы относится к региональным компонентам СПС (Гричук, Заклинская, 1948), ее содержание в пределах ЛПЗ КС 2 выше, чем в ниже- и вышележащих отложениях, что отражает и ее произрастание *in situ*, и распространение на региональном уровне. В самой западине началось формирование низинного осоково-вейникового болота, на котором распространились травы, типичные для болот и их окраин (Нешатаева, 2009): сабельник, вахта, соссюрея, кровохлебка, а позднее – верескоцветные. Рост доли п. березы и снижение доли п. кустарниковой ольхи, вероятно, отражает завершение относительно прохладного этапа и начало потепления (рис. 5).

Следующее наиболее заметное изменение в составе СПС отмечено на глубине 3.35 м, где преобладание п. Сурегасеае сменяется на Роасеае одновременно с исчезновением п. некоторых травянистых родов и семейств (*Saussurea*, *Sanguisorba*, *Cichorioideae*) и спор сфагновых мхов. Эта смена в интервале от 1.9 тыс. л. н. до 1.2 тыс. л. н. может быть связана как с климатическими причинами, так и с реакцией растительных сообществ на извержение и выпадение мощного слоя пепла. Реакцию растительности на формирование покрова пепла подтверждает исчезновение п. некоторых гигрофитов и снижение доли п. сем. осоковых. Резкая смена локальной растительности может быть связана с серией извержений влк. Шивелуч, которые спровоцировали более быстрый отклик на усиление сухости климата. Возможно, выпадение мощных пачек пеплов (общей мощностью 0.22 м на глубинах от 3.6 до 3.35 м в данном разрезе) привело к лучшей дренированности грунтов, в результате чего площади низинных болот сократились, и распространились луговые фитоценозы. Обилие п. злаков может свидетельствовать о распространении вейниковых луговых фитоценозов, сменивших осоковое болото. Типичные болотные травы на время практически пропали с исследуемой территории. Существенных изменений в составе п. деревьев и кустарников в это же время не отмечено, следовательно, древесная

растительность не проявила заметной реакции на локальные события.

Около 1.2 тыс. л. н., во время продолжения относительно теплого этапа позднего голоцена нарастание сухости климата привело к уменьшению площади лесов из ольхи волосистой и распространению каменноберезняков. Об этом свидетельствует уменьшение процентного содержания п. растений, характерных для увлажненных местообитаний (*Alnus hirsuta*, *Salix*). В исследуемой низине сохранялись вейниковые разнотравные луга на более сухих местообитаниях, но болотные растения при этом обильно цвели, находясь в благоприятных условиях. В это время в СПС растет доля п. сабельника и появляются единичные зерна п. росянки (*Drosera*) — типичных болотных таксонов (Нешатаева, 2009).

Следующий этап начался около 0.8 тыс. л. н. и характеризовался ростом доли деревьев и кустарников, среди которых на фоне общего доминирования п. каменной березы в составе СПС также выделяется повышение процента п. лиственницы. Эти изменения соответствуют экспансии лиственничников в ЦКД (Хотинский, 1977) и формированию так называемого “хвойного острова” в днище депрессии. Поскольку п. лиственницы плохо сохраняется в осадках, отмеченный рост ее содержания после 0.8 тыс. л. н. можно считать свидетельством распространения лиственничных лесов в ЦКД. Последние 0.37 тыс. л., выросла доля п. ели в составе СПС (рис. 5). Так как еловые леса формируются на заключительной стадии сукцессионной смены растительности на нормально дренированных местообитаниях Центральной Камчатки (Нешатаева, 2009), можно считать эту смену новым этапом в формировании “хвойного острова” ЦКД. Относительно высокая доля п. влаголюбивых таксонов после 0.8 тыс. л. н. может свидетельствовать об увлажнении климата. Таким образом, современный умеренный относительно влажный климат на севере ЦКД установился после 0.8 тыс. л. н.

Отдельно стоит упомянуть п. липы в спектрах скв. Кич. Поскольку в голоцене широколиственные породы не произрастали на п-ове Камчатка, присутствие п. *Tilia* может быть свидетельством ветрового заноса с более южных территорий Дальнего Востока, где липа была широко представлена в голоцене. П. широколиственных пород в спектрах голоценовых осадков отмечается в других работах (Klimaschewski, 2010; Pendea et al., 2017). Переотложение п. липы кажется нам менее вероятным из-за отсутствия в данном регионе более древних осадков, которые могли бы ее содержать, а также ввиду идеальной сохранности пыльцевых зерен.

5.2. Позднеголоценовая история изменения растительности и климата севера ЦКД

По нашим данным 3.0–2.5 тыс. л. н. на севере ЦКД преобладал прохладный и влажный климат. Низкая доля п. деревьев и повышенная доля п. кустарниковой ольхи могут отражать завершение относительного похолодания, которое продемонстрировано во многих исследованиях палеоархивов полуострова (Brooks et al., 2015; Meyer et al., 2014; Andren et al., 2015; Self et al., 2015; Dirksen et al., 2013, Nazarova et al., 2017). Для него было характерно увеличение зимних осадков, направленное похолодание и расширение ареала кустарниковой ольхи на склонах ЦКД (Dirksen et al., 2013). По данным этих исследований на юге ЦКД похолодание началось около 5 тыс. л. н. и закончилось около 3.2 тыс. л. н. (Dirksen et al., 2013). Возможно, на севере ЦКД эффект похолодания мог сохраняться дольше. Тем не менее после 2.5 тыс. л. н. на севере ЦКД также началось постепенное потепление климата, приведшее к распространению каменноберезняков в днище депрессии. По всей видимости, потепление сопровождалось нарастанием континентальности климата, которое отмечается во многих работах (Brooks et al., 2015; Nazarova et al., 2013; Dirksen et al., 2013; Hoff et al., 2015; Pendea et al., 2017). Нарастание континентальности климата наряду с вулканическим фактором привело к резкой смене локальной растительности исследуемой впадины, но, вероятно, не слишком заметно отразилось на зональной растительности — каменноберезняки по-прежнему были доминирующими сообществами.

Согласно нашим данным, на севере ЦКД период относительно сухого и теплого климата закончился около 0.8 тыс. л. н. Ряд исследователей выделяют кратковременное потепление около 1.2 тыс. л. н., соответствующее средневековому потеплению (Brooks et al., 2015), тогда как другие не отмечают его признаков (Nazarova et al., 2017; Hoff et al., 2015), либо выделяют его позже, около 1 тыс. л. н. (Andren et al., 2015). Наши данные не позволяют с уверенностью судить о выраженности короткопериодных климатических изменений. С одной стороны, обилие п. каменной березы наряду со стабильным содержанием п. ольховника в спектрах свидетельствует об относительно теплых условиях. С другой стороны, для этого времени характерны самая низкая доля п. деревьев и кустарников и самая высокая доля п. трав и кустарничков. Однако общий состав спектров зависит от многих параметров и не может служить однозначным признаком климатических изменений. Полученные нами данные не позво-

ляют реконструировать потепление, соответствующее средневековому, на севере ЦКД.

Около 0.8 тыс. л. н. увлажнение климата способствовало расширению “хвойного острова” на севере ЦКД. Согласно данным других исследователей, на юге ЦКД содержание п. хвойных пород деревьев в осадках возросло после 0.84 тыс. л. н., а максимальное распространение “хвойный остров” получил около 0.45–0.32 тыс. л. н. (Dirksen et al., 2013, Brooks et al., 2015). Вероятно, очаги распространения хвойных лесных сообществ находились на юге ЦКД, поэтому там экспансия лиственничников началась немного раньше, чем на севере депрессии – примерно на 40–50 лет. Расширение площадей еловых лесов на севере ЦКД началось 0.4–0.37 тыс. л. н.

6. ВЫВОДЫ

Исследование разреза Кич позволило впервые подробно охарактеризовать изменения растительности и климата в позднем голоцене на севере ЦКД за последние 3000 лет. Полученные материалы дополняют данные других исследователей и демонстрируют частичную асинхронность изменений растительности и климата в разных частях полуострова.

3.0–2.5 тыс. л. н. в пойме р. Кич произрастали тополевые леса с примесью ольхи волосистой с обилием осок и разнотравья; климат был прохладным на этапе завершения похолодания.

2.5–1.9 тыс. л. н. из-за смены гидрологического режима тополевики сменились ольшаниками и ивняками, а затем каменноберезняками; в западine начало формироваться низинное осоковое болото с типичной болотной растительностью.

1.9–1.2 тыс. л. н. – относительно теплый этап при нарастании сухости климата. Серия мощных извержений около 1.9 тыс. л. н., вероятно, привела к изменению облика растительности западины, ухудшению условий роста влаголюбивых растений и ускорению отклика растительных сообществ на изменение климата; осоковое болото сменилось вейниковыми лугами.

1.2–0.8 тыс. л. н. – этап относительно сухого и теплого климата; вновь возросли площади каменноберезняков на водоразделах и вейниковых фитоценозов в понижениях; одновременно с этим в западинах восстанавливались осоковые сообщества с обилием болотных видов.

0.8 тыс. л. н. – наст. вр. – увлажнение климата и расширение “хвойного острова” на севере ЦКД, сначала за счет лиственничников, а после 0.37 тыс. л. н. – также за счет ельников.

Важным фактором, влияющим на состав растительности на данной территории, являлся вулка-

низм. Его влияние проявлялось через изменение дренажных свойств грунта и подавление роста влаголюбивых растений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность О.К. Борисовой, В.В. Пономаревой, А.В. Панину, Э.П. Зазовской, Е.А. Константинову и Е.А. Зеленину за помощь и советы при написании этой работы, Д.Д. Воронцову за неоценимый вклад при сборе полевых материалов, рецензентам за конструктивные замечания и предложения.

Полевые работы выполнены за счет мегагранта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021), лабораторные исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 21-77-10102, палинологические исследования проведены по госзаданию ИГ РАН FMWS-2024-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.А., Певзнер М.М. (2001). История растительности в низовьях р. Камчатка за последние 6000 лет. *Ботанический журнал*. Т. 86. № 5. С. 39–45.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С. и др. (1968). Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука. 228 с.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ, ГЕОГРАФИЗ. 224 с.
- Егорова И.А. (1980). Палинологическая характеристика вулканогенно-осадочных отложений в применении к стратиграфии. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука. С. 52–76.
- Захарихина Л.В. (2014). Скорость голоценового торфообразования в условиях Камчатки. *Почвоведение*. № 6. С. 670–676.
- Куприна Н.П. (1970). Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки. *Труды ГИН АН СССР*. Вып. 216. 148 с.
- Ложкин А.В., Слободин С.Б. (2012). Ушковская стоянка – уникальный археологический памятник Севера Дальнего Востока. *Вестник ДВО РАН*. № 1. С. 84–91.
- Мазей Н.Г., Новенко Е.Ю. (2021). Применение пропионового ангидрида при пробоподготовке проб для спорово-пыльцевого анализа. *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. Т. 6. № 3. С. 110–112. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.036>
- Нейштадт М.И. (1936). О некоторых вопросах, возникающих в связи с изучением торфяников Камчатки. *Бюлл. МОИП. Отд. биол.* Т. 45. Вып. 2. С. 159–170.
- Нешатаева В.Ю. (2009). Растительность полуострова Камчатка. М.: Товарищество науч. изданий КМК. 537 с.
- Погода и Климат. Погода Ключей 2004–2020. Справочно-информационный портал. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/32389.htm> (дата обращения 10.12.2020).

- Скиба Л.А. (1975). История развития растительности Камчатки в позднем кайнозое. М.: Наука. 72 с.
- Хотинский Н.А. (1977). Голоцен Северной Евразии: опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. К X Конгрессу INQUA (Великобритания, 1977). М.: Наука. 200 с.
- Andrén E., Klimaschewski A., Self A.E. et al. (2015). Holocene climate and environmental change in north-eastern Kamchatka (Russian Far East). *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 41–54.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.013>
- Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. V. 6. P. 457–474.
<https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al. (1997). Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia. *Quat. Res.* V. 47. Iss. 2. P. 125–139.
<https://doi.org/10.1006/qres.1996.1876>
- Brooks S.J., Diekmann B., Jones V.J. et al. (2015). Holocene environmental change in Kamchatka: a synthesis. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 166–174.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.09.004>
- Dirksen V., Dirksen O., Diekmann B. (2013). Holocene vegetation dynamics and climate change in Kamchatka Peninsula, Russian Far East. *Rev. of Palaeobotany and Palynology*. V. 190. P. 48–65.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.11.010>
- Dirksen V.G., Uspenskaia O.N. (2006). The Holocene climate and vegetation changes in Eastern Kamchatka based on pollen, macrofossil and tephra data. In: *Proceedings of 2nd Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies*. EAFES, Niigata. P. 420.
- Gill J.B. (1981). Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin: Springer. 390 p.
- Grimm E. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences*. V. 13. P. 13–35.
[https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Grimm E.C. (1990). TILIA and TILIA GRAPH. PC spreadsheet and graphics software for pollen data. In: *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods*. Newsletter. № 4. P. 5–7.
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments. Reproducibility and comparability of results. *J. of Paleolimnology*. V. 25. P. 101–110.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Hoff U., Biskaborn B.K., Dirksen V.G. et al. (2015). Holocene Environment of Central Kamchatka, Russia: Implications from a multi-proxy record of Two-Yurts Lake. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 101–117.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.07.011>
- IPNI – International Plant Names Index [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ipni.org/> (дата обращения: 10.05.2024)
- Jarosevich E.J., Nelen J.A., Norberg J.A. (1980). Reference sample from electron microprobe analysis. *Geostandards Newsletter*. V. 4. P. 43–47.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1980.tb00273.x>
- Jochum K.P., Stoll B., Herwig K. et al. (2006). MPI-DING reference glasses for in situ microanalysis: new reference values for element concentrations and isotope ratios. *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 7. Iss. 2. P. 1–44.
<https://doi.org/10.1029/2005GC001060>
- Klimaschewski A. (2010). Late Quaternary environmental change of Kamchatka. PhD thesis. Belfast: Queen's University. 290 p.
- Kuehn K.A., Ohsowski B.M., Francoeur S.N. et al. (2011). Contributions of fungi to carbon flow and nutrient cycling from standing dead *Typha angustifolia* leaf litter in a temperate freshwater marsh. *Limnol. Oceanogr.* V. 56. Iss. 2. P. 529–539.
<https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.2.0529>
- Le Maitre R.W. (Ed.). (2005). Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press.
- Lowe D.J. (2011). Tephrochronology and its application: a review. *Quat. Geochronology*. V. 6. Iss. 2. P. 107–153.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.08.003>
- Meyer H., Chaplignin B., Hoff U. et al. (2014). Oxygen isotope composition of diatoms as Late Holocene climate proxy at Two-Yurts Lake, Central Kamchatka, Russia. In: *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 118–128.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.04.008>
- Nazarova L., Bleibtreu A., Hoff U. et al. (2017). Changes in temperature and water depth of a small mountain lake during the past 3000 years in Central Kamchatka reflected by a chironomid record. *Quat. Int.* V. 447. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.008>
- Nazarova L., de Hoog V., Hoff U. et al. (2013). Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from the subfossil chironomid record. *Quat. Sci. Rev.* V. 67. P. 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.018>
- Pendea I.F., Ponomareva V., Bourgeois J. et al. (2017). Late Glacial to Holocene paleoenvironmental change on the northwestern Pacific seaboard, Kamchatka Peninsula (Russia). *Quat. Sci. Rev.* V. 157. P. 14–28.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.035>
- Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Pevzner M.M. et al. (2015). Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass. *Int. J. of Earth Sci.* V. 104. P. 1459–1482.
<https://doi.org/10.1007/s00531-015-1156-4>
- Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Pendea I.F. et al. (2017). A full Holocene tephrochronology for the Kamchatsky Peninsula region: applications from Kamchatka to north America. *Quat. Sci. Rev.* V. 168. P. 101–122.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.04.031>
- Portnyagin M., Ponomareva V., Zelenin E. et al. (2020). TephraKam: geochemical database of glass compositions in tephra and welded tuffs from the Kamchatka volcanic arc (northwestern Pacific). *Earth System Science Data*. V. 12. №. 1. P. 469–486.
<https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>

- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. V. 62. Iss. 4. P. 1–33. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Self A.E., Klimaschewski A., Solovieva N. et al. (2015). The relative influences of climate and volcanic activity on Holocene Lake. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.06.012>
- Stockmarr J. (1971). Tablets with spores used in Absolute Pollen Analysis. *Pollen et spores*. V. 13. P. 615–621.
- Zelenin E., Gurinov A., Garipova S., Zakharov A. (2023). Geomorphology of the Central Kamchatka Depression, the Kamchatka Peninsula, NE Pacific. *J. of Maps*. V. 19. № 1. 2252006. <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2252006>

VEGETATION AND CLIMATE CHANGES IN THE NORTH OF THE CENTRAL KAMCHATKA DEPRESSION IN THE LATE HOLOCENE¹

E. O. Mukhametshina^{1,2,#}, M. D. Shchekleina³, and A. L. Zakharov^{1,2}

¹Institute of geography RAS, Moscow, Russia

²Geological institute RAS, Moscow, Russia

³Fersman Mineralogical Museum, Moscow, Russia

#E-mail: eomukhametshina@igras.ru

In order to study the vegetation history of the northern part of the Central Kamchatka Depression, a core Kich was obtained and studied by lithological, tephrochronological, palynological analyses and radiocarbon dating. Palynological data allowed us to identify the main stages in the vegetation and climate development over the past 3000 years. By the end of the cool period at ~2.5 cal. kyr BP, in the Kich River valley poplar forests were replaced by alder, willow and stone birch forests. About 1.9 cal. kyr BP, sedge-dominated mire was replaced by grass meadows as a result of a series of the Shiveluch volcano eruptions and climate changes. As climate became drier stone birch forests spread about 1.2 cal. kyr BP. Since 0.8 cal. kyr BP, the areas of coniferous forests increase, first with the spread of larch and later spruce.

Keywords: pollen analysis, vegetation dynamics, Kamchatka Peninsula, Late Holocene, tephra

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful of O. Borisova, V. Ponomareva, A. Panin, E. Zazovskaya, E. Konstantinov, E. Zelenin and D. Vorontsov for the help, to the referees for their constructive input. The field works were supported by a Megagrant project of the Russian Ministry of Science and Higher Education (agreement № 075-15-2021-599), laboratory work was made with support of the Russian Science Foundation grant № 21-77-10102 and pollen analysis was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (FMWS-2024-0005).

REFERENCES

- Andreev A.A., Pevzner M.M. (2001). Vegetation dynamics of the lower reaches of Kamchatka River during last 6000 years. *J. of Botany*. V. 86. № 5. P. 119–124 (in Russ.).
- Andrén E., Klimaschewski A., Self A.E. et al. (2015). Holocene climate and environmental change in north-eastern Kamchatka (Russian Far East). *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.013>
- Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. V. 6. P. 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Braitseva O.A., Melekestev I.V., Evteeva I.S. et al. (1968). *Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii i oledeniya Kamchatki* (Stratigraphy of Quaternary deposits and glaciation of Kamchatka). Moscow: Nauka (Publ.). 228 p. (in Russ.)
- Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al. (1997). Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia. *Quat. Res*. V. 47. Iss. 2. P. 125–139. <https://doi.org/10.1006/qres.1996.1876>
- Brooks S.J., Diekmann B., Jones V.J. et al. (2015). Holocene environmental change in Kamchatka: a synthesis. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.09.004>
- Dirksen V., Dirksen O., Diekmann B. (2013). Holocene vegetation dynamics and climate change in Kamchatka Pen-

¹For citation: Mukhametshina E.O., Shchekleina M.D., Zakharov A.L. (2024). Vegetation and climate changes in the north of the Central Kamchatka Depression in the Late Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. № 4. P. 177–191. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178924040117>; <https://elibrary.ru/FFCQTJ>

- insula, Russian Far East. *Rev. of Palaeobotany and Palynology*. V. 190. P. 48–65.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.11.010>
- Dirksen V.G., Uspenskaia O.N. (2006). The Holocene climate and vegetation changes in Eastern Kamchatka based on pollen, macrofossil and tephra data. Proceedings of 2nd Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies. EAFES, Niigata. P. 420.
- Egorova I.A. (1980). Palinologicheskaya kharakteristika vulkanogenno-osadochnykh otlozhenii v primenenii i stratigrafii. Vulkanicheskii tsentr: stroenie, dinamika, veshchestvo (Karymskaya struktura) (Palynological characteristics of volcanic-sedimentary deposits as applied to stratigraphy. Volcanic center: structure, dynamics, substance (Karym structure)). Moscow: Nauka (Publ.). P. 52–76. (in Russ.)
- Gill J.B. (1981). Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin: Springer. 390 p.
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. (1948). Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii (Analysis of fossil pollen and spores and its application to paleogeography). Moscow: OGIZ, GEOGRAFGIZ (Publ.). 224 p. (in Russ.)
- Grimm E. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences*. V. 13. P. 13–35.
[https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Grimm E.C. (1990). TILIA and TILIA GRAPH. PC spreadsheet and graphics software for pollen data. In: *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter*. № 4. P. 5–7.
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments. Reproducibility and comparability of results. *J. of Paleolimnology*. V. 25. P. 101–110.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Hoff U., Biskaborn B.K., Dirksen V.G. et al. (2015). Holocene Environment of Central Kamchatka, Russia: Implications from a multi-proxy record of Two-Yurts Lake. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 101–117.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.07.011>
- IPNI – International Plant Names Index [Electronic data]. Access way: <https://www.ipni.org/> (access date: 10.05.2024)
- Jarosevich E.J., Nelen J.A., Norberg J.A. (1980). Reference sample from electron microprobe analysis. *Geostandards Newsletter*. V. 4. P. 43–47.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1980.tb00273.x>
- Jochum K.P., Stoll B., Herwig K. et al. (2006). MPI-DING reference glasses for in situ microanalysis: New reference values for element concentrations and isotope ratios. *Geochem. Geophys. Geosyst.* V. 7. Iss. 2. P. 1–44.
<https://doi.org/10.1029/2005GC001060>
- Klimaschewski A. (2010). Late Quaternary environmental change of Kamchatka. PhD thesis. Belfast: Queen's University. 290 p.
- Khotinsky N.A. (1977). Golotsen Severnoi Evrazii: opyt transkontinental'noi korrelyatsii etapov razvitiya ras-titel'nosti i klimata. K X Kongressu INQUA (Velikobritaniya, 1977) (Holocene of Northern Eurasia: experience of transcontinental correlation of stages of development of vegetation and climate. To the Xth Congress of INQUA (Great Britain, 1977)). Moscow: Nauka (Publ.). 200 p. (in Russ.)
- Kuehn K.A., Ohsowski B.M., Francoeur S.N. et al. (2011). Contributions of fungi to carbon flow and nutrient cycling from standing dead *Typha angustifolia* leaf litter in a temperate freshwater marsh. *Limnol. Oceanogr.* V. 56. Iss. 2. P. 529–539.
<https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.2.0529>
- Kuprina N.P. (1970). Stratigrafiya i istoriya osadkonakopleniya pleistotsenovykh otlozhenii Tsentral'noi Kamchatki (Stratigraphy and sedimentation history of Pleistocene deposits of Central Kamchatka). *Trudy GIN AN SSSR*. V. 216. 148 p. (in Russ.)
- Le Maitre R.W. (Ed.). (2005). Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press.
- Lowe D.J. (2011). Tephrochronology and its application: a review. *Quat. Geochronology*. V. 6. Iss. 2. P. 107–153.
<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.08.003>
- Lozhkin A.V., Slobodin S.B. (2012). The Ushki site as a unique archaeological monument of the North of the Far East. *Vestnik DVO RAN*. № 1. P. 84–91. (in Russ.)
- Mazei N.G., Novenko E.Yu. (2021). The use of propionic anhydride in the sample preparation for pollen analysis. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*. V. 6. № 3. P. 110–112.
<https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.036>
- Meyer H., Chaplign B., Hoff U. et al. (2014). Oxygen isotope composition of diatoms as Late Holocene climate proxy at Two-Yurts Lake, Central Kamchatka, Russia. *Global and Planetary Change*. V. 134. P. 118–128.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.04.008>
- Nazarova L., Bleibtreu A., Hoff U. et al. (2017). Changes in temperature and water depth of a small mountain lake during the past 3000 years in Central Kamchatka reflected by a chironomid record. *Quat. Int.* V. 447. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.008>
- Nazarova L., de Hoog V., Hoff U. et al. (2013). Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from the subfossil chironomid record. *Quat. Sci. Rev.* V. 67. P. 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.018>
- Neustadt M.I. (1936). On some questions arising in connection with the study of the peat bogs of Kamchatka. *Bulletin MOIP. Otdelenie biologii*. V. 45. № 2. P. 159–170. (in Russ.)
- Neshataeva V.Yu. (2009). *Rastitel'nost' poluostrova Kamchatka* (Vegetation of the Kamchatka Peninsula). Moscow: KMK (Publ.). 537 p. (in Russ.)
- Pendea I.F., Ponomareva V., Bourgeois J. et al. (2017). Late Glacial to Holocene paleoenvironmental change on the northwestern Pacific seaboard, Kamchatka Peninsula (Russia). *Quat. Sci. Rev.* V. 157. P. 14–28.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.035>

- Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Pevzner M.M. et al. (2015). Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass. *Int. J. of Earth Sci.* V. 104. P. 1459–1482.
<https://doi.org/10.1007/s00531-015-1156-4>.
- Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Pendea I.F. et al. (2017). A full Holocene tephrochronology for the Kamchatsky Peninsula region: applications from Kamchatka to north America. *Quat. Sci. Rev.* V. 168. P. 101–122.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.04.031>
- Portnyagin M., Ponomareva V., Zelenin E. et al. (2020). TephraKam: geochemical database of glass compositions in tephra and welded tuffs from the Kamchatka volcanic arc (northwestern Pacific). *Earth System Science Data.* V. 12. №. 1. P. 469–486.
<https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon.* V. 62. Iss. 4. P. 1–33.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Self A.E., Klimaschewski A., Solovieva N. et al. (2015). The relative influences of climate and volcanic activity on Holocene Lake. *Global and Planetary Change.* V. 134. P. 67–81.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.06.012>
- Skiba L.A. (1975). *Istoriya razvitiya rastitel'nosti Kamchatki v pozdnem kainozoe* (History of the development of vegetation in Kamchatka in the late Cenozoic). Moscow: Nauka (Publ.). 72 p. (in Russ.)
- Stockmarr J. (1971). Tablets with spores used in Absolute Pollen Analysis. Pollen et spores. V. 13. P. 615–621.
- Weather and Climate. Weather of the Klyuchi 2004–2020. Reference and information portal. [Electronic data]. Access way: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/32389.htm> (Access date: 10.12.2020).
- Zaharihina L.V. (2014). The rate of Holocene peat accumulation in Kamchatka. *Soil science.* № 6. P. 670–676. (in Russ.)
- Zelenin E., Gurinov A., Garipova S., Zakharov A. (2023). Geomorphology of the Central Kamchatka Depression, the Kamchatka Peninsula, NE Pacific. *J. of Maps.* V. 19. № 1. 2252006.
<https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2252006>