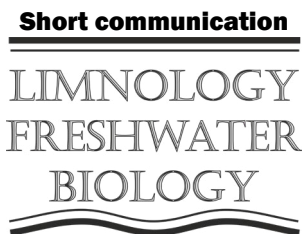


Palaeoecological reconstruction of the Late Glacial and Early Holocene based on pollen data from lake Novozhilovo (Perm region, Russia)



Lapteva E.G.^{1,2*}, Rudaya N.A.³, Zaretskaya N.E.^{4,5}, Kopytov S.V.^{1,6}, Sannikov P.Yu.⁶

¹ Perm State Humanitarian Pedagogical University, Sibirskaya str., 24, Perm, 614990, Russia

² Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Marta str., 202, Yekaterinburg, 620144, Russia

³ Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentyev prospect, 17, Novosibirsk, 630090, Russia

⁴ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny Pereulok, 29, Moscow 119017, Russia

⁵ Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Pyzhevskiy Pereulok, 7, Moscow 119017, Russia

⁶ Perm State University, Bukireva str., 15, Perm 614990, Russia

ABSTRACT. This paper provides the first paleolimnological studies performed in the upper Kama basin (Perm region). These yielded a detailed pollen record characterizing the changes in the natural conditions of the transition from the periglacial environment of the Late Glacial period to the interglacial conditions of the Holocene between 14.15 and 10.0 cal ka BP. It was found that open birch woodland with larch existed in the Allerød period (14.15–12.7 cal ka BP) and was replaced by larch forest-steppe during the Younger Dryas (12.7–11.5 cal ka BP). The spread of spruce began in the early Holocene between 11.5 and 10.7 cal ka BP, whereas open larch and spruce woodlands became dominant between 10.7 and 10.0 cal ka BP. Quantitative palaeoclimatic reconstruction reveals that the average temperature of the warmest month (July) and the annual precipitation were considerably lower than modern values. The average July temperature increased from 10 to 16°C between 14.15 and 12.7 cal ka BP. Then, small fluctuations within 1°C occurred between 12.7 and 10.0 cal ka BP. The average annual precipitation was 200-300 mm below modern values between 14.15 and 10.7 cal ka BP and reached them only after 10.7 cal ka BP.

Keywords: paleoecology, palynology, North-East of the East European Plain, Allerød, Younger Dryas, early Holocene

For citation: Lapteva E.G., Rudaya N.A., Zaretskaya N.E., Kopytov S.V., Sannikov P.Yu. Palaeoecological reconstruction of the Late Glacial and Early Holocene based on pollen data from lake Novozhilovo (Perm region, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 481-486. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-481

1. Introduction

We have performed the first studies of the lacustrine deposits in the upper Kama basin. Previously, only few palaeoecological data were obtained for this area (Nazarov et al., 2020; Demakov et al., 2023; Lapteva et al., 2023). The purpose of this study is to reconstruct the dynamics of vegetation and climate in the upper Kama basin during the Late Glacial period and early Holocene using a detailed pollen record from the Lake Novozhilovo deposits.

2. Materials and methods

The NZH-1 core (60°19'18.5"N, 55°25'15.6"E) of 5.2 m thick was taken using the Livingstone coring equipment in 2022-2023 during winter time (see

Kopytov et al., 2024 in this issue). We selected 102 samples 2-5 cm thick for laboratory pollen analysis. Processing of the samples was performed according to the standard method (Faegri and Iversen, 1975). The biomes were reconstructed following the methods in Prentice et al., 1996. Palaeoclimatic parameters for the average temperature of the warmest month (July) and annual precipitation were calculated using transfer functions and following the weighted averaging partial least squares (WA-PLS) method (Juggins, 2007, Cao et al., 2020).

3. Results

The lithological and radiocarbon analyses show that gyttja deposits at depths of 5.2–3.5 m accumulated

*Corresponding author.

E-mail address: lapteva@ipae.uran.ru (E.G. Lapteva)

Received: June 10, 2024; **Accepted:** July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



in the Late Glacial period and early Holocene between ~14.15 and 10.0 cal ka BP (see Kopytov et al., 2024 in this issue). The changes in the taxonomic composition and pollen content indicate two groups of pollen spectra typical of this period. The first group (5.2–4.0 m, 14.15–10.7 cal ka BP) is dominated by pollen of herbaceous plants (approximately 60%) and shrubs (18–75%), mainly dwarf birch (*Betula* sect. *Apterocaryon* = *B.* sect. *Nanae*, 15–70%) and sagebrush (*Artemisia*, 25–45%) with tree birch (*Betula* sect. *Betula* = *B.* sect. *Albae*, 10–30%) and sporadic occurrence of larch pollen and stomata (*Larix*). Pollen from other coniferous species (*Picea*, *Pinus*) is wind-drifted, as indicated by its content of less than 5%. The second group (4.0–3.5 m, after 10.7 cal ka BP) is dominated by arboreal pollen (70–82%). The pollen spectra reflect a decrease in the percentage of dwarf birch (less than 15%) and sagebrush (5–10%). There is a maximum of spruce (*Picea*, up to 55%), while larch is also present. Stomata of these coniferous trees were also found.

Biome reconstruction suggests a biome mainly of cold deciduous forests between ~14.15 and 10.0 cal ka BP. It must be noted that no full analogues of the Late Glacial vegetation exist in the modern vegetation. Therefore, data interpretation also reflects the tundra and steppe biomes. The tundra biome scores had gradually decreased by 12.7 cal ka BP, whereas the steppe biome reached its maximum between 12.7 and 12.0 cal ka BP.

Reconstructed July temperature for the studied period is lower than modern values (17°C). However, its sharp increase is observed from 10 to 16°C between ~14.15 and 12.7 cal ka BP, followed by the fluctuation of its values within $\pm 1^\circ\text{C}$. Reconstructed annual precipitation was 200–300 mm below modern levels between ~14.15 and 10.7 cal ka BP. It reached modern values of 600 mm/year after 10.7 cal ka BP.

4. Discussion

Allerød (14.15–12.7 cal ka BP). High content of green algae colonies with the maximum concentration of *Pediastrum* ($119\text{--}465 \times 10^3$ colonies/g) and *Botryococcus* (up to 20×10^3 colonies/g) shows favourable conditions for phytoplankton in low flow or standing waters with high content of organic material. The total pollen concentration ($100\text{--}500 \times 10^3$ grains/g) indicates good biological productivity of the landscapes during that period. Periglacial open birch woodland with larch, dwarf birch and willow was widespread. Sedge and grasses with forbs formed semi-aquatic and meadow communities. Ephedra, sagebrush and goosefoot grew in areas with unformed turf cover and dry places with poor rocky and sandy soils. The reconstructed average July temperature shows an increase from 10 to 16°C. The annual precipitation is about 400 mm/year.

Younger Dryas (12.7–11.5 cal ka BP). The total pollen and algae concentration decreases sharply, which shows a rapid deterioration of the conditions, and thus, a decline of the biological productivity of the landscapes and the lake. Open periglacial landscapes were widespread. The area was dominated by sage-

brush and goosefoot with *Ephedra*, Plumbaginaceae and Caryophyllaceae species, communities of sedges, grasses and forbs, shrub thickets of willow and dwarf birch. Larch resistant to environmental extremes formed open larch woodland. The predominance of sagebrush pollen (30–45%), the presence of xerophyte pollen, percentage reduction of tree birch to the minimum values (less than 10%) and the large steppe biome indicate climate aridization between 12.7 and 12.0 cal ka BP. The reconstructed precipitation parameters are 300–350 mm/year. No significant changes in July temperature are recorded.

Early Holocene (11.5–10.0 cal ka BP). The pollen spectra between 11.5 and 10.7 cal ka BP reflect a certain increase in the total pollen content and abundance of spruce, tree and dwarf birch, with a decrease in sagebrush. The tundra and steppe biomes have similar scores, but the biome of cold deciduous forests dominates. Such changes might reflect the expansion of forested areas and the reduction of steppe areas under improved climatic conditions with increased humidity. There is a gradual increase in annual precipitation, though it is still not at modern values. A sharp increase in precipitation up to 600 mm/year is recorded between 10.7 and 10.0 cal ka BP. This correlates with the dominance of arboreal pollen (over 70%), mainly of spruce (40–60%) with larch and tree birch. The percentage of steppe and tundra components decreased. Similar changes characterize the spread of larch-spruce woodland with dwarf birch after 10.7 cal ka BP.

5. Conclusion

Pollen data from the Lake Novozhilovo core enabled us to perform the first reconstruction of the changes in vegetation and climatic conditions of the Late Glacial period and early Holocene in the upper Kama basin. It was found that periglacial birch woodland/forest with larch existed in the Allerød period. Periglacial larch forest-steppe replaced it during the Younger Dryas due to climate aridization. More humid conditions in the early Holocene, as compared to the Late Glacial period, resulted in the spread of larch and spruce woodland.

Acknowledgements

Quantitative paleoclimatic reconstruction based on pollen data was done under the Russian Science Foundation, projects number 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>. Radiocarbon dating was done under the State Contracts of the Institute of Geography (FMWS-2024-0003).

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

Cao X., Tian F., Andreev A. et al. 2020. A taxonomically harmonized and temporally standardized fossil pollen dataset

from Siberia covering the last 40 ka. *Earth System Science Data* 12: 119–135. DOI: [10.5194/essd-2019-7](https://doi.org/10.5194/essd-2019-7)

Demakov D.A., Lychagina E.L., Zaretskaya N.E. et al. 2023. Kosinsky Mesolithic sites in the context of the history of the natural environment of the upper Kama region in the Late Glacial and early Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya* 54: 74–89. DOI: [10.31857/S0435428123010042](https://doi.org/10.31857/S0435428123010042) (in Russian)

Fægri K., Iversen J. 1975. *Textbook of pollen analysis*, 3rd edn. Oxford: Blackwell.

Juggins S. 2007. C2 Version 1.5 user guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. Newcastle University, Newcastle upon Tyne.

Kopytov S.V., Sannikov P.Yu., Mekhonoshina E.A. et al. 2024. Organic matter in the lacustrine sediments of the Kama-Keltma lowland (Cis-Urals): assessment of distribution and dynamics in the Late Pleistocene and Holocene. See in this issue.

Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L. et al. 2023. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia. *Vegetation History and Archaeobotany* 32: 361–385. DOI: [10.1007/s00334-023-00913-5](https://doi.org/10.1007/s00334-023-00913-5)

Nazarov N.N., Kopytov S.V., Zhuikova I.A. et al. 2020. Pleistocene runoff channels in the southern part of the Keltma hollow (Kama-Vycheгда watershed) *Geomorfologiya* 4(1): 74–88. DOI: [10.31857/S0435428120040070](https://doi.org/10.31857/S0435428120040070) (in Russian)

Prentice C., Guiot J., Huntley B. et al. 1996. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics* 12: 185–194. DOI: [10.1007/BF00211617](https://doi.org/10.1007/BF00211617)

Реконструкция природной среды позднеледниковья и раннего голоцена по результатам палинологического изучения донных отложений озера Новожилово (Пермское Предуралье, Россия)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYЛаптева Е.Г.^{1,2*}, Рудая Н.А.³, Зарецкая Н.Е.^{4,5}, Копытов С.В.^{1,6}, Санников П.Ю.⁶¹ Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, ул. Пушкина, 42, Пермь, 614000, Россия² Институт экологии растений и животных УрО РАН, ул. 8 Марта, 202, Екатеринбург, 620144, Россия³ Институт археологии и этнографии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия⁴ Институт географии РАН, Старомонетный переулок, 29, Москва, 119017, Россия⁵ Геологический институт РАН, Пыжевский переулок, 7, Москва, 119017, Россия⁶ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, 614990, Россия

АННОТАЦИЯ. Впервые для бассейна Верхней Камы (Пермское Предуралье) проведены палеолимнологические исследования, в результате которых получена детальная палинологическая летопись, характеризующая изменения природных условий перехода от перигляциальных обстановок позднеледниковья к межледниковым условиям голоцена в интервале от 14.15 до 10.0 тыс. кал. л.н. Выявлено, что березовые редколесья при участии лиственницы существовали в аллереде (14.15–12.7 тыс. кал. л.н.), которые в позднем дриасе (12.7–11.5 тыс. кал. л.н.) сменились лиственничной лесостепью. Распространение ели началось в раннем голоцене в интервале 11.5–10.7 тыс. кал. л.н., а лиственнично-еловые редколесья стали доминировать в интервале 10.7–10.0 тыс. кал. л.н. Согласно количественной реконструкции палеоклиматических показателей, средняя температура самого теплого месяца (июль) и среднегодовое количество осадков были значительно ниже современных параметров. Возрастание среднеиюльской температуры от 10 до 16°C наблюдается в интервале 14.15–12.7 тыс. кал. л.н., а затем небольшие колебания в пределах 1°C происходили в интервале 12.7–10.0 тыс. кал. л.н. Среднегодовое количество осадков было на 200–300 мм ниже современного уровня в интервале 14.15–10.7 тыс. кал. л.н. и достигло его только после 10.7 тыс. кал. л.н.

Ключевые слова: палеоэкология, палинология, северо-восток Восточно-Европейской равнины, аллерёд, поздний дриас, ранний голоцен

Для цитирования: Лаптева Е.Г., Рудая Н.А., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Санников П.Ю. Реконструкция природной среды позднеледниковья и раннего голоцена по результатам палинологического изучения донных отложений озера Новожилово (Пермское Предуралье, Россия) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 481-486. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-481](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-481)

1. Введение

Исследования донных отложений озёр впервые проведены в бассейне Верхней Камы, для которого ранее были получены лишь единичные палеоэкологические данные (Назаров и др., 2020; Демаков и др., 2023; Lapteva et al., 2023). Цель исследования – реконструировать динамику растительности и климата бассейна Верхней Камы в позднеледниковье и раннем голоцене на основе детальной пыльцевой записи из донных отложений оз. Новожилово.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: lapteva@ipae.uran.ru (Е.Г. Лаптева)

Поступила: 10 июня 2024; **Принята:** 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

2. Материалы и методы

Керн NZH-1 донных отложений оз. Новожилово (60°19'18.5"N, 55°25'15.6"E) мощностью 5.2 м был отобран с помощью бура Ливингстона зимой 2023 года (детали см. Копытов и др., 2024 в этом издании). Для палинологического изучения в лабораторных условиях были отобраны 102 образца мощностью по 2–5 см. Лабораторная обработка образцов выполнена по стандартной методике (Faegri and Iversen, 1975). Тип растительности определен на

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



основе метода биомизации (Prentice et al., 1996), палеоклиматические параметры для средней температуры самого теплого месяца (июль) и среднегодового количества осадков рассчитаны на основе трансферных функций с применением метода средневзвешенных дробных наименьших квадратов (WA-PLS) (Juggins, 2007, Cao et al., 2020).

3. Результаты

Согласно данным литологического и радиоуглеродного анализов, отложения сапропеля в диапазоне глубин 5.2–3.5 м накапливались в позднеледниковье и раннем голоцене в интервале от ~14.15 до 10.0 тыс. кал. л.н. (детали см. Копытов и др., 2024 в этом издании). По изменению таксономического состава и содержания пыльцы пыльцевые спектры, характеризующие обозначенный возрастной интервал, можно разделить на две группы. В первой группе (5.2–4.0 м, 14.15–10.7 тыс. кал. л.н.) преобладает пыльца травянистых растений (около 60%) и кустарников (18–75%). Основной фон создают кустарниковые березы (*Betula* sect. *Apterocaryon* = *B.* sect. *Nanae* – 15–70%) и полынь (*Artemisia* – 25–45%) при участии березы древовидной (*Betula* sect. *Betula* = *B.* sect. *Albae* – 10–30%) и единичных пыльцы и устьиц лиственницы (*Larix*). Пыльца других хвойных пород (*Picea*, *Pinus*) является дальнезапасной, на что указывает ее содержание менее 5%. Во второй группе (4.0–3.5 м, после 10.7 тыс. кал. л.н.) доминирует пыльца древесных пород (70–82%). В пыльцевых спектрах на фоне уменьшения содержания кустарниковых берез (менее 15%) и полыни (5–10%) наблюдается максимум ели (*Picea* – до 55%) и присутствие лиственницы, также обнаружены устьица этих хвойных пород.

По результатам биомизации биом холодных листопадных лесов доминирует в интервале от ~14.15 до 10.0 тыс. кал. л.н. Следует отметить, что полных аналогов растительности позднеледниковья не существует в современности, поэтому при интерпретации данных учитывали вклад тундрового и степного биомов. Удельный вес биома тундры постепенно уменьшается к 12.7 тыс. кал. л.н., в то время как вес степного биома становится наибольшим в интервале 12.7–12.0 тыс. кал. л.н.

Для рассматриваемого возрастного интервала реконструированная температура июля ниже современных значений (17°C), но наблюдается ее резкое возрастание от 10 до 16°C в диапазоне от ~14.15 до 12.7 тыс. кал. л.н., а затем ее значения колеблются в пределах $\pm 1^\circ\text{C}$. Реконструируемое среднегодовое количество осадков ниже современного уровня в среднем на 200–300 мм в интервале от ~14.15 до 10.7 тыс. кал. л.н. и достигает современных значений около 600 мм/год после 10.7 тыс. кал. л.н.

4. Обсуждение

Аллерёд (14.15–12.7 тыс. кал. л.н.). Высокое содержание колоний зеленых водорослей с максимальной концентрацией видов *Pediastrum* (119–465

тыс. колоний/г) и *Botryococcus* (до 20 тыс. колоний/г) указывает на благоприятные условия для развития фитопланктона в условиях слабопроточной или стоячей воды с высоким содержанием органического вещества. Общая высокая концентрация пыльцы (100–500 тыс. зерен/г) свидетельствует о хорошей биологической продуктивности существовавших ландшафтов. Были распространены перигляциальные березовые редколесья с участием лиственницы, кустарниковых берез и ивы. Осоки и злаки при участии разнотравья формировали прибрежно-водные и луговые сообщества. Эфедра и марево-полынные группировки занимали незадернованные участки и сухие местообитания с бедными каменистыми и песчаными почвами. Наблюдается возрастание реконструированной средней температуры июля от 10 до 16°C. Количество осадков составляло около 400 мм/год.

Поздний друас (12.7–11.5 тыс. кал. л.н.). Общая концентрация пыльцы и водорослей резко сокращается, что указывает на резкое ухудшение условий, и как следствие, снижение биологической продуктивности ландшафтов и самого водоема. Были распространены открытые ландшафты перигляциального типа. Преобладали марево-полынные группировки с эфедрой, видами свинчатковых и гвоздичных, осоковыми и злаково-разнотравными сообществами, кустарниковые заросли из ивы и кустарниковых берез. Лиственница, способная выдерживать экстремальные условия, формировала лиственничные редколесья. Преобладание пыльцы полыни (30–45%), присутствие пыльцы ксерофитов, сокращение доли березы древовидной до минимума (менее 10%) и наибольший вес степного биома свидетельствуют об аридизации климата в интервале 12.7–12.0 тыс. кал. л.н. Реконструированные параметры количества осадков соответствуют 300–350 мм/год. Существенного изменения температуры июля не отмечено.

Ранний голоцен (11.5–10.0 тыс. кал. л.н.). Небольшое увеличение общей концентрации пыльцы, возрастание обилия ели, древовидной и кустарниковой берез на фоне уменьшения полыни наблюдается в пыльцевых спектрах интервала 11.5–10.7 тыс. кал. л.н. Биомы тундры и степи имеют близкие удельные веса, но преобладает биом холодных листопадных лесов. Подобные изменения могут отражать расширение облесенных и сокращение остепненных участков при улучшении климатических условий за счет увеличения влажности климата. Наблюдается постепенный рост уровня годового количества осадков, но еще ниже современных значений. Резкое возрастание количества осадков до 600 мм/год фиксируется в интервале 10.7–10.0 тыс. кал. л.н. Это коррелирует с доминированием пыльцы древесных растений (более 70%), среди которой преобладает ель (40–60%) при участии лиственницы и березы древовидной. Содержание степных и тундровых компонентов уменьшилось. Подобные изменения характеризуют распространение лиственнично-еловых редколесий с участием кустарниковых берез после 10.7 тыс. кал. л.н.

5. Заключение

Пыльцевые данные из керна отложений оз. Новожилово позволили впервые реконструировать изменения растительности и климатических условий позднеледниковья и раннего голоцена в бассейне Верхней Камы. Установлено, что в аллереде существовали березовые с участием лиственницы перигляциальные редколесья/леса, которые при аридизации климата сменились перигляциальной лиственничной лесостепью в позднем дриасе. В раннем голоцене началось распространение лиственнично-еловых редколесий в более гумидных условиях, по сравнению с позднеледниковьем.

Благодарности

Количественная реконструкция климатических параметров по палинологическим данным выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>). Радиоуглеродный анализ донных отложений проведен в рамках ГЗ ИГ РАН (FMWS-2024-0003).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Демаков Д.А., Лычагина Е.Л., Зарецкая Н.Е. и др. 2023. Косинские мезолитические стоянки в контексте истории природной среды верхнего Прикамья в позднеледниковье и раннем голоцене. *Геоморфология и палеогеография* 54 (1): 74–89. DOI: [10.31857/S0435428123010042](https://doi.org/10.31857/S0435428123010042)
- Копытов С.В., Санников П.Ю., Механошина Е.А. и др. 2024. Органическое вещество в донных отложениях озер Камско-Кельтминской низменности (Предуралье): оценка распределения и динамика в позднем плейстоцене и голоцене. См. данное издание
- Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А. и др. 2020. Плейстоценовые каналы стока в южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье). *Геоморфология* 4: 74–88. DOI: [10.31857/S0435428120040070](https://doi.org/10.31857/S0435428120040070)
- Caо X., Tian F., Andreev A. et al. 2020. A taxonomically harmonized and temporally standardized fossil pollen dataset from Siberia covering the last 40 ka. *Earth System Science Data* 12: 119–135. DOI: [10.5194/essd-2019-7](https://doi.org/10.5194/essd-2019-7)
- Faegri K., Iversen J. 1975. *Textbook of pollen analysis*, 3rd edn. Oxford: Blackwell.
- Juggins S. 2007. *C2 Version 1.5 user guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization*. Newcastle University, Newcastle upon Tyne
- Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L. et al. 2023. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia. *Vegetation History and Archaeobotany* 32: 361–385. DOI: [10.1007/s00334-023-00913-5](https://doi.org/10.1007/s00334-023-00913-5)
- Prentice C., Guiot J., Huntley B. et al. 1996. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics* 12: 185–194. DOI: [10.1007/BF00211617](https://doi.org/10.1007/BF00211617)