

# Late Glacial vegetation changes in the Kostroma Volga region based on pollen study of Lake Chukhlomskoye bottom sediments

Short communication

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGY

Samus A.V., Konstantinov E.A., Filippova K.G.

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny L., 29/4, Moscow, 119017, Russia

**ABSTRACT.** The article presents the results of a palynological study of Lake Chukhlomskoye bottom sediments. Pollen analysis in combination with the results from  $^{14}\text{C}$  and  $^{137}\text{Cs}$  dating made it possible to reconstruct the main stages of changes in plant communities in the Kostroma Volga region at the end of the Pleniglacial and during the Late Glacial: 19.5–16.9 cal. ka BP – periglacial steppe, 16.9–14.7 cal. ka BP – birch periglacial forest-steppe, 14.7–12.7 cal. ka BP – spruce and birch-spruce forests and open woods with periglacial-steppe and meadow communities, 12.7–11.7 cal. ka BP – birch periglacial forest-steppe with rare participation of spruce.

**Keywords:** reconstruction of paleolandscapes, lacustrine sediments, pollen analysis, Final Pleniglacial, Late Glacial

**For citation:** Samus A.V., Konstantinov E.A., Filippova K.G. Late Glacial vegetation changes in the Kostroma Volga region based on pollen study of Lake Chukhlomskoye bottom sediments // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 642-647. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-642

## 1. Introduction

Lake Chukhlomskoye is located on the Galich-Chukhloma Upland in the northern part of the Kostroma region. It has a small catchment area (~270 km<sup>2</sup>) and no large tributaries. The lake was not affected by the last (Late Valdai) glaciation (Map of Quaternary..., 1972). Because of this, the sediments of the lake provide a reliable basis for regional paleolandscape reconstructions of the Late Pleistocene. However, until recently, palynological studies of the Lake Chukhlomskoye bottom sediments were not conducted.

Paleobotanical studies of sediments in the Lake Chukhlomskoye area were carried out in the last century by K.K. Markov, G.A. Blagoveshchensky, and V.P. Grichuk. Thus, K.K. Markov (1940) published the results of pollen, diatom, and carpological analyses of the Mikulino Interglacial peat and gyttja layers found near the Semenkovo village and on the Ivanovsky stream (Chukhloma and Ivanovsky Ruche sections, respectively). In 1953, V.P. Grichuk re-examined deposits from the Chukhloma section and obtained a more complete pollen diagram of the Mikulino Interglacial (Grichuk, 1989).

In the Kostroma Volga region, palynological studies of Lake Galichskoye bottom sediments were also conducted (Velichko et al., 2001). The studies of

sediment sequences from two cores made it possible to reconstruct the vegetation and climate changes over the past 55 thousand years.

This article is devoted to the results of pollen analysis of the Lake Chukhlomskoye bottom sediments, which accumulated during the Final Pleniglacial and Late Glacial, and to the reconstruction of vegetation in the area surrounding the lake.

## 2. Materials and methods

The main object of this study is the Chu13A core, 7.45 m long, which was collected with a Livingstone piston sampler in a 4 m deep hollow at the bottom of Lake Chukhlomskoye. Pollen analysis was carried out for 29 samples from depths of 3.4–0.6 m at 10 cm intervals. Laboratory sample preparation included treatment with 10% HCl, boiling in 10% KOH solution, heavy liquid separation (Grichuk and Zaklinskaya, 1948), and acetolysis (Mazei and Novenko, 2021). Samples were examined under the microscope with 400x magnification. Percentages of all taxa were calculated from the total pollen of terrestrial plants (arboreal pollen + non-arboreal pollen). The pollen diagram was constructed with the Tilia/TiliaGraph software (Grimm, 1990) and zoned using cluster analysis in the CONISS program.

\*Corresponding author.

E-mail address: [alina.samus.msu@gmail.com](mailto:alina.samus.msu@gmail.com) (A.V. Samus)

**Received:** June 04, 2024; **Accepted:** July 03, 2024;

**Available online:** August 26, 2024

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



Eight accelerator mass spectrometry (AMS) radiocarbon dates and one date from  $^{137}\text{Cs}$  measurements were obtained (Filippova et al., 2023). A depth-age model based on these dates was built using the rbacon package.

### 3. Results

Chu13A core includes the following layers: 0–0.50 m – weakly consolidated organic silt; 0.5–1.45 m – organomineral silt; 1.45–1.63 m – carbonate silt; 1.63–2.5 m – organomineral silt with a sandy silt layer at a depth of 1.95–2.15 m; 2.50–2.85 m – sandy mineral silt; below 2.85 m – mineral silt.

On the pollen diagram, six Local Pollen Zones (LPZs) were identified.

**LPZ 1** (3.4–2.55 m) is characterized by the highest Non-Arboreal Pollen (NAP) contents (57–72%), including high values of Poaceae (14–24%), *Artemisia* (10–19%), Chenopodiaceae (3–8%), and forbs; simultaneous presence of pollen of tundra plants (*Betula* sect. *Nanae*, *Alnaster*, Saxifragaceae), steppe and meadow plants (*Bupleurum*, *Valeriana*, etc.), xerophytes (*Ephedra*, *Helianthemum*), and halophytes (Plumbaginaceae). The Arboreal Pollen (AP) group contains pollen of spruce (*Picea*), Scots and Siberian pines (*Pinus sylvestris*, *P. sibirica*), tree and shrub birches (*Betula* sect. *Albae*, *B.* sect. *Fruticosae*, *B.* sect. *Nanae*), willow (*Salix*), larch (*Larix*), and a typical heliophyte – sea buckthorn (*Hippophae*). Rare pollen grains of broad-leaved species are found. In **LPZ 2** (2.55–2.25 m), the content of AP gradually increases (51–62%) due to pollen of birches and willows, but the values of NAP (38–49%), *Artemisia* (14–16%), Chenopodiaceae (9–10%), and forbs remain high. Pollen of periglacial plants (*Thalictrum*, *Helianthemum*, Saxifragaceae) is present. **LPZ 3** (2.25–1.93 m) is dominated by spruce pollen (13–40%). Pollen of *Betula* sect. *Albae* (17–25%), *Artemisia* (11–27%), Chenopodiaceae (8–9%) is abundant. AP values constitute 53–67% of spectra. **LPZ 4** (1.93–1.73 m) is characterized by similar contents of NAP (50–52%) and AP (48–50%), an abundance of birch pollen, including dwarf birch (up to 2%), and *Artemisia* (25–26%). In the pollen assemblages of **LPZ 5** (1.73–1.53 m), AP values increase (64–82%), and *Betula* sect. *Albae* (36–64%) predominates. *Artemisia* and Chenopodiaceae decline. **LPZ 6** (1.53–0.6 m) is distinguished by a great amount of AP (90–96%), including birch, spruce, and alder (*Alnus*) pollen. Pollen of oak (*Quercus*), elm (*Ulmus*), linden (*Tilia*), and hazel (*Corylus*) is constantly present.

### 4. Discussion and conclusions

A palynological study of the Chu13A sediment sequence at depths of 3.4–0.5 m, along with an analysis of the depth-age model, made it possible to reconstruct the main stages of environmental change in the Kostroma Volga region during the Final Pleniglacial and Late Glacial, starting from 19.5 cal. ka BP.

It was established that at the end of the Pleniglacial (19.5–16.9 cal. ka BP, LPZ 1) the vegetation cover was

dominated by periglacial steppe with rare participation of cold-resistant trees and shrubs (larch, dwarf birch, shrub alder). The combination of desert-steppe, boreal and tundra elements observed in the pollen spectra of LPZ 1 is quite typical for Pleistocene periglacial floras. The presence of pollen from heliophytes (*Hippophae*, *Helianthemum*), xerophytes (*Bupleurum*, *Ephedra*) and halophytes (Plumbaginaceae) in this interval indicates a wide distribution of open vegetation in a cold continental climate. Spruce could grow only in protected habitats, which is also confirmed by pollen data on Lake Galichskoye bottom sediments (Velichko et al., 2001). Finds of pollen from thermophilous species (oak, elm, linden, hazel) can probably be explained by its redeposition from interglacial sediments and transfer to the lake due to erosion processes in conditions of sparse vegetation.

During the Oldest Dryas (16.9–14.7 cal. ka BP; LPZ 2), birch began to spread in the study area, forming small forests and open woods. Treeless areas were occupied by periglacial-steppe associations. In herbaceous vegetation, the role of grasses and the diversity of forbs decreased, but xerophytes and plants of tundra and meadow communities were still combined in the grass cover. Shrub birch and willow communities took a considerable part in the vegetation. During the Bølling-Allerød interstadial (14.7–12.7 cal. ka BP, LPZ 3), spruce and birch-spruce forests and sparse woods, as well as periglacial-steppe and meadow associations, were widespread. The participation of spruce in the forests was more significant in the early part of the interstadial (Bølling), since the pollen of *Picea* shows higher values in the lower part of LPZ 3. The role of spruce in the vegetation cover declined during the Allerød. The Younger Dryas landscapes (12.7–11.7 cal. ka BP, LPL 4) were represented by birch periglacial forest-steppe with rare participation of spruce; open spaces were occupied by xerophytic and grass-forb communities.

The beginning of the Holocene (11.7–10.7 cal. ka BP, LPZ 5) was marked by the gradual replacement of periglacial forest-steppes by birch forests with spruce and pine. In the interval of 10.7–5.5 cal. ka BP, a break in sedimentation is recorded in the sediment sequence. The vegetation cover of the Subboreal period of the Holocene (LPZ 6) was dominated by spruce-birch forests with pine and broadleaf species (oak, elm, linden, ash). The undergrowth was formed by hazel and viburnum.

### Acknowledgements

The work was funded by the Russian Science Foundation project No. 23-77-10063, “Reconstruction of natural events based on high-resolution sedimentation paleoarchives from the center of the East European Plain over the past 25 thousand years.”

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

Filippova K.G., Konstantinov E.A., Kuzmenkova N.V. et al. 2023. Structure and origin of the bottom relief of Lake Chukhlomskoe (Kostroma Region). *Geomorfologiya i paleogeografiya* [Geomorphology and paleogeography] 54(4): 145–162. (in Russian) DOI: [10.31857/S2949178923040047](https://doi.org/10.31857/S2949178923040047)

Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. 1948. Analiz iskopayemykh pyl'tsy i spor i yego primeneniye v paleogeografii [Analysis of fossil pollen and spores and its application in palaeogeography]. Moscow: OGIZ. (in Russian)

Grichuk V.P. 1989. Istoriya flory i rastitel'nosti Russkoy ravniny v pleystotsene [History of flora and vegetation of the Russian Plain in the Pleistocene]. Moscow: Nauka. (in Russian)

Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA\*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter 4: 5–7.

Map of Quaternary deposits: O-38-VII. 1972. In: Borozdina Z.I. (Ed.), Geological map of the USSR. Map of

Quaternary deposits. Mezenskaya series. Scale: 1:200 000. Moscow: Vsesoyuzny Aerogeological Trust of the Ministry of Geology of the USSR. (in Russian)

Markov K.K. 1940. Materials for the stratigraphy of Quaternary sediments of the Upper Volga basin. In: *Trudy Verkhnevolzhskoi ekspeditsii*, vyp. 1. [Proceedings of the Upper Volga Expedition of the USSR Academy of Sciences, vol. 1]. Leningrad: GE NII LGU. (in Russian)

Mazei N.G., Novenko E.Yu. 2021. The use of propionic anhydride in the preparation of samples for pollen analysis. *Nature Conservation Research. Zapovednaya Nauka* [Nature Conservation Research. Reserved nature] 6(3): 110-112. (in Russian) DOI: [10.24189/ncr.2021.036](https://doi.org/10.24189/ncr.2021.036)

Velichko A.A., Kremenetski K.V., Negendank J. et al. 2001. Late Quaternary history of vegetation of the Kostroma Volga region according to palynological studies of Lake Galichskoye bottom sediments. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period] 64: 5–21. (in Russian)

# Изменения растительности в Костромском Заволжье в позднеледниковье по данным палинологического изучения донных отложений Чухломского озера

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGY

Самусь А.В., Константинов Е.А., Филиппова К.Г.

Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29/4, Москва, 119017, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Представлены результаты палинологического исследования донных отложений Чухломского озера. Анализ палинологических данных в совокупности с данными датирования отложений по  $^{14}\text{C}$  и  $^{137}\text{Cs}$  позволили реконструировать этапы изменения растительных сообществ в Костромском Заволжье в конце плейстоцена и в позднеледниковье: 19.5–16.9 тыс. кал. л.н. – перигляциальная степь, 16.9–14.7 тыс. кал. л.н. – березовая перигляциальная лесостепь, 14.7–12.7 тыс. кал. л.н. – еловые и березово-еловые леса и редколесья с перигляциально-степными и луговыми сообществами, 12.7–11.7 тыс. кал. л.н. – березовая перигляциальная лесостепь с небольшим участием ели.

**Ключевые слова:** реконструкция палеоландшафтов, озерные отложения, спорово-пыльцевой анализ, финальный плейстоцен, позднеледниковье

**Для цитирования:** Самусь А.В., Константинов Е.А., Филиппова К.Г. Изменения растительности в Костромском Заволжье в позднеледниковье по данным палинологического изучения донных отложений Чухломского озера // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 642-647. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-642](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-642)

## 1. Введение

Чухломское озеро расположено на Галичско-Чухломской возвышенности в северной части Костромской области. Оно имеет небольшую площадь водосбора (~270 км<sup>2</sup>), крупные притоки отсутствуют. Озеро не было затронуто последним (поздневалдайским) оледенением (Карта четвертичных..., 1972), благодаря чему его отложения могут служить основой для надежных региональных палеоландшафтных реконструкций позднего плейстоцена. Тем не менее, до недавнего времени палинологические исследования донных осадков Чухломского озера не проводились.

Палеоботаническое изучение отложений в районе исследования проводилось в прошлом столетии К.К. Марковым, Г.А. Благовещенским, В.П. Гричуком. Так, в трудах К.К. Маркова (1940) приведены результаты палинологического, диатомового и карпологического изучения микулинских торфов и гиттий у д. Семеново и на ручье Ивановском

(разрезы «Чухлома» и «Ивановский ручей», соответственно). Позже, в 1953 г., В.П. Гричук повторно выполнил пыльцевой анализ отложений разреза «Чухлома», ему удалось получить более полную пыльцевую диаграмму микулинского межледниковья (Гричук, 1989).

В Костромском Заволжье также было выполнено палинологическое исследование донных отложений Галичского озера (Величко и др., 2001). Исследование отложений двух опорных колонок позволило установить последовательность изменений растительности и климата за последние 55 тысяч лет.

Настоящая статья посвящена результатам спорово-пыльцевого анализа донных отложений Чухломского озера, накопившихся в финальном плейстоцене и в позднеледниковье, и реконструкции растительности на окружающей озеро территории.

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [alina.samus.msu@gmail.com](mailto:alina.samus.msu@gmail.com) (А.В. Самусь)

**Поступила:** 04 июня 2024; **Принята:** 03 июля 2024;

**Опубликована online:** 26 августа 2024

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



## 2. Материалы и методы исследования

Объектом данного исследования является колонка Chu13A длиной 7.45 м, полученная в результате бурения донных осадков при помощи поршневого бура Ливингстона в ложбине Чухломского озера глубиной 4.0 м. Спорово-пыльцевой анализ был проведен для 29 образцов (с 3.4 до 0.6 м) с интервалом 10 см. Лабораторная подготовка образцов включала в себя обработку 10% раствором HCl, кипячение в 10% растворе KOH, сепарацию в тяжелой жидкости (Гричук и Заклинская, 1948) и ацетолит (Мазей и Новенко, 2021). Готовые пробы просматривались под микроскопом с увеличением в 400 раз. Процентное содержание пыльцы и спор рассчитывалось от суммы пыльцы наземных растений (пыльца деревьев и кустарников + пыльца трав и кустарничков). Спорово-пыльцевая диаграмма была построена в пакете программ Tilia/TiliaGraph (Grimm, 1990); границы палинозон проведены с помощью кластерного анализа в программе CONISS.

Для отложений колонки получены восемь радиоуглеродных датировок методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) и одна датировка методом измерения содержания радиоизотопа  $^{137}\text{Cs}$  (Филиппова и др., 2023). В программном пакете gbasop построена глубинно-возрастная модель.

## 3. Результаты исследования

Колонка Chu13A включает в себя следующие горизонты: 0–0.50 м – слабо консолидированный органический ил; 0.5–1.45 м – органоминеральный ил; 1.45–1.63 м – карбонатный ил; 1.63–2.5 м – органоминеральный ил с прослоем опесчаненного ила на глубине 1.95–2.15 м; 2.50–2.85 м – ил минеральный опесчаненный; ниже 2.85 м – минеральный ил.

На спорово-пыльцевой диаграмме выделено 6 локальных пыльцевых зон (ЛПЗ).

Для ЛПЗ 1 (3.4–2.55 м) характерны наибольшее процентное содержание NAP (non-arboreal pollen – пыльцы трав и кустарничков) – от 57 до 72%; высокая доля пыльцы злаков (14–24%), полыни (10–19%), маревых (3–8%), разнотравья; одновременное присутствие пыльцы тундровых (*Betula sect. Nanae*, *Alnaster*, *Saxifragaceae*), степных и луговых растений (*Bupleurum*, *Valeriana* и др.), ксерофитов (*Ephedra*, *Helianthemum*) и галофитов (*Plumbaginaceae*). В группе AP (arboreal pollen – пыльцы деревьев и кустарников) встречается пыльца ели, сосны обыкновенной и сибирской, древовидных и кустарниковых берез, ивы, лиственницы, а также типичного гелиофита – облепихи. Единичны пыльцевые зерна широколиственных пород. В ЛПЗ 2 (2.55–2.25 м) постепенно возрастает доля AP (51–62%) за счет пыльцы берез и ивы, но содержание NAP (38–49%), полыни (14–16%), маревых (9–10%) и разнотравья остается высоким. Присутствует пыльца растений, характерных для перигляциальных флор (*Thalictrum*, *Helianthemum*, *Saxifragaceae*). Отличительной особенностью палиноспектров ЛПЗ 3 (2.25–1.93 м) является максимум пыльцы *Picea* (13–40%), высокая

доля пыльцы *Betula sect. Albae* (17–25%), *Artemisia* (11–27%), *Chenopodiaceae* (8–9%). Доля AP составляет 53–67%. ЛПЗ 4 (1.93–1.73 м) характеризуется равным соотношением NAP (50–52%) и AP (48–50%), высоким содержанием пыльцы березы (в т. ч. карликовой – до 2%) и полыни (25–26%). В спорово-пыльцевых спектрах ЛПЗ 5 (1.73–1.53 м) растет доля AP (64–82%), преобладает *Betula sect. Albae* (36–64%). Содержание пыльцы *Artemisia* и *Chenopodiaceae* сокращается. Для ЛПЗ 6 (1.53–0.6 м) характерно большое количество AP (90–96%), в том числе пыльцы березы, ели, ольхи. Постоянно встречается пыльца дуба, вяза, липы, лещины.

## 4. Обсуждение результатов и выводы

Палинологическое исследование отложений колонки Chu13A на глубинах 3.4–0.5 м и анализ глубинно-возрастной модели позволили реконструировать основные этапы ландшафтно-климатических изменений в Костромском Заволжье в финальном плейстоцене и позднеледниковье, начиная с 19.5 тыс. кал. л.н.

Установлено, что в конце плейстоцена (19.5–16.9 тыс. кал. л.н., ЛПЗ 1) растительный покров был представлен перигляциальной степью с редким участием холодостойких пород деревьев и кустарников (лиственницы, березы карликовой, ольховника). Сочетание пустынно-степных, бореальных и тундровых элементов, наблюдаемое в спорово-пыльцевых спектрах ЛПЗ 1, вполне типично для плейстоценовых перигляциальных флор. Присутствие в этом интервале пыльцы гелиофитов (*Hippophae*, *Helianthemum*), ксерофитов (*Bupleurum*, *Ephedra*) и галофитов (*Plumbaginaceae*) указывает на широкое распространение открытых пространств в условиях холодного континентального климата. Еловые сообщества могли существовать лишь в защищенных местообитаниях, что подтверждается и результатами палинологических исследований отложений Галичского озера (Величко и др., 2001). Находки пыльцы термофильных растений (дуба, вяза, липы, лещины), вероятно, можно объяснить переотложением из межледниковых отложений, распространенных в бассейне озера, за счет эрозионных процессов в условиях разреженной растительности.

В раннем дриасе (16.9–14.7 тыс. кал. л.н.; ЛПЗ 2) в районе исследования начала расселяться береза, образуя небольшие леса и редколесья. Безлесные территории были заняты перигляциально-степными формациями. Среди травянистых сообществ уменьшилась роль злаков, флористический состав разнотравья стал менее разнообразным, но по-прежнему ксерофиты сочетались с представителями тундр и лугов. Значительную роль в растительном покрове играли сообщества из кустарниковых видов берез и ив. Во время интерстадиала бёллинг-аллерёд (14.7–12.7 тыс. кал. л.н., ЛПЗ 3) распространились еловые и березово-еловые леса и редколесья наряду с перигляциально-степными и луговыми сообществами. Участие в древостое

ели было более значимым в первую фазу потепления (бёллинг), т. к. максимум пыльцы ели приходится на нижнюю часть ЛПЗ 3. В аллереде роль ели в составе растительности сократилась. В позднем дриасе (12.7–11.7 тыс. кал. л.н., ЛПЗ 4) господствовали ландшафты березовой перигляциальной лесостепи с небольшим участием ели; открытые сообщества занимали полынно-маревые и злаково-разнотравные фитоценозы.

В начале голоцена (11.7–10.7 тыс. кал. л.н., ЛПЗ 5) началось постепенное замещение перигляциальных лесостепей березовыми лесами с участием ели и сосны. В интервале от 10.7 до 5.5 тыс. кал. л.н. в колонке фиксируется перерыв в осадконакоплении. В суббореальном периоде голоцена (ЛПЗ 6) в окрестностях озера произрастали елово-березовые леса с примесью сосны и широколиственных пород (дуба, вяза, липы, ясеня), подлесок был образован лещиной, калиной.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

### Конфликт интересов

У авторов отсутствует конфликт интересов.

### Список литературы

Величко А.А., Кременецкий К.В., Негенданк Й. и др. 2001. Позднечетвертичная история растительности Костромского Заволжья по данным палинологического изучения донных осадков Галичского озера. Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 64: 5–21.

Гричук В.П., Заклинская Е.Д. 1948. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ.

Гричук В.П. 1989. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука.

Карта четвертичных отложений: О-38-VII. 1972. В кн.: Бороздина З.И. (ред.). Геологическая карта СССР. Карта четвертичных отложений. Серия Мезенская, масштаб: 1:200 000. М.: Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР.

Мазей Н.Г., Новенко Е.Ю. 2021. Применение пропиенового ангидрида при подготовке проб для спорово-пыльцевого анализа. *Nature Conservation Research*. Заповедная наука. 6(3): 110–112. DOI: [10.24189/ncr.2021.036](https://doi.org/10.24189/ncr.2021.036)

Марков К.К. 1940. Материалы к стратиграфии четвертичных отложений бассейна Верхней Волги. Труды Верхневолжской экспедиции АН СССР; Вып. 1. Л: ГЭ НИИ ЛГУ.

Филиппова К.Г., Константинов Е.А., Кузьменкова Н.В. и др. 2023. Строение и происхождение донного рельефа Чухломского озера (Костромская область). *Геоморфология и палеогеография*. 54(4): 145–162. DOI: [10.31857/S2949178923040047](https://doi.org/10.31857/S2949178923040047)

Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA\*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter*. 4: 5–7.