

Diatoms in a sediment core of Lake Raifskoye (Volzhsko-Kamsky Nature Reserve, Republic of Tatarstan): lake development over the past 1200 years

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYPalagushkina O.V.^{1*}, Li H.C.², Unkovskaya E.N.³, Frolova L.A.⁴¹ Kazan (Volga region) Federal University, Kremlevskaya street, 18, Kazan, 420008, Russia² Department of Geosciences, National Taiwan University Taipei, 106, Taiwan, POC³ Volzhsko-Kamsky State Natural Biosphere Reserve, Republic of Tatarstan, Zelenodolsk district, village Sadovy, st. Vekhova, 1, 422537, Russia⁴ Institute of archaeology and ethnography of the Russian Academy of Sciences, Acad. Lavrentiev Avenue 17, Novosibirsk, 630090, Russia

ABSTRACT. Studies of the diatom assembly in a 130-cm sediment core from Lake Raifskoye reveal 79 taxa of diatoms ranking below the genus of two classes (centric - 14, pennate - 65). ¹⁴C, ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating results show that the sediment core covers a continuous deposition since 1200 cal. yr BP. During the development of the lake, three periods were identified. In the range of 600-1200 years ago unfavourable conditions for the development of diatoms were noted, presumably due to low environmental temperatures. Period from 150-450 years ago reflects good conditions for the development of diatoms and, as a consequence, an increase in the productivity of algal communities in the lake against the backdrop of rising air temperatures. In the third, modern period, the processes of increasing the productivity of algal communities continue, which can also be associated with an increase in air temperature.

Keywords: bottom sediments, diatoms, Lake Raifskoye, climate change

For citation: Palagushkina O.V., Li H.C., Unkovskaya E.N., Frolova L.A. Diatoms in a sediment core of Lake Raifskoye (Volzhsko-Kamsky Nature Reserve, Republic of Tatarstan): Lake development over the past 1200 years // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 556-561. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-556

1. Introduction

Paleoecological and paleolimnological studies can contribute to the study of the manifestation of global processes at regional levels. The Middle Volga region is a large fragment of the Russian Plain with an area of 146,400 km², located in the central part of the Volga-Kama basin. The lack of data in the literature on paleoecological and paleolimnological studies in the Middle Volga region makes studies of this kind relevant.

Bottom sediments of karst lakes located in specially protected natural areas (SPNA) of federal significance can become valuable archives about the climate of the past. The location of these lakes in protected areas, where anthropogenic impacts are minimal, makes it possible to highlight the influence of climate on natural communities.

Bottom sediments of Lake Raifskoye, the largest karst lake in terms of area and volume in the Raifa section of the Volga-Kama Nature Reserve, were used as an archive of paleoecological information. According to the results of a hydrological survey of the reserve, the length of the lake is 1296 m with a maximum width of 320 m, a maximum depth of 20,3 m, the area of the lake is 31,99 hectares, and the volume of water is 2077,63 thousand m³ (Palagushkina et al., 2024). Throughout the history of its development, the lake has not experienced direct anthropogenic impact (Unkovskaya et al., 2020). This flowing karst reservoir, in its nutrition and regime, is connected with the Sumka River and its activities. Hydrochemical and hydrobiological studies of Lake Raifskoye have been carried out since 1996 using a unified methodology. In the species composition of phytoplankton, diatoms make up about 13% of the total composition (Palagushkina, 2004).

*Corresponding author.

E-mail address: opalagushkina@mail.ru (O.V. Palagushkina)

Received: June 14, 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.



2. Materials and methods

In June 2023, using a UVITEC sampler, a 130 cm long column of bottom sediments was taken at the deepest point of the lake (23-RT-01A, Raifa Lake, 55°54.375' N, 048°43.680' E). The sediment of column was cut layer by layer with a high degree of resolution (1 cm) in the field. Radiocarbon dating of some samples (AMS 14C) was carried out at the NTUAMS Laboratory (National Taiwan University), the maximum age of the column was 1200 cal. yr BP.

Technical processing of 14 samples of bottom sediments for diatom analysis was carried out using the water bath method (Battarbee, 1986) at the Research Laboratory of Paleoclimatology, Paleoecology and Paleomagnetism of the Kazan (Volga Region) Federal University.

Highly refractive Naphrax resin was used to make permanent preparations. To determine the species composition, domestic and foreign key books were used. Valves were counted along parallel transects up to 300 per sample using an Axioplan Zeiss light microscope and immersion medium. The total number of valves was taken as 100%. Ecological and geographical characteristics of diatoms were given in relation to habitat, salinity, water pH, geographical distribution and temperature (Barinova et al., 2006). Column zoning was performed using cluster analysis in the PAST program (Hammer et al., 2001).

3. Results and discussion

In the species composition of the studied column, 79 taxa of diatoms were identified with a rank below the genus of two classes (centric - 14, pennate - 65). Clustering of the results divided the column into three zones: zone I - 40-130 cm or 600-1200 cal. yr BP, zone II - 10-31 cm or 150-450 cal. yr BP. and zone III - zone III - 0-1 cm (present time).

In ten samples of zone I (40-130 cm or 600-1200 cal. yr BP), 38 species were noted (5 of the centric class, 33 of the pennate class), but there was no reliable number of valves in the samples. The insufficient number of diatom valves may presumably be associated with unfavourable development conditions due to low environmental temperatures during this historical period.

The good development of diatoms and a reliable number of valves in the samples were confined to zone II (10-31 cm or 150-450 cal yr BP). In the species composition of the zone, 57 taxa of rank below genus were identified, which accounted for 72% of the total number of taxa in the column.

In terms of habitat within the zone, there is an increase in the proportion of planktonic species with dominant *Fragilaria crotonensis* Kitt. – from 11.7 to 35.2%, *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth from 17 to 28%, *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun. From 0.5% to 19.1%, which indirectly reflects an increase in the water level in the lake. Among the subdominants, *Cyclotella bodanica* Eulenk. was noted. *Cyclotella iris* Brun et Hérib., but *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simons., *Stephanodiscus niagarae* Ehrb. dis-

appeared from the species composition of planktonic species, which may indirectly reflect processes of increasing air temperature. According to the salinity factor, the halophobic cold-loving *Eunotia praerupta* Ehrb., *Navicula placentula* (Ehrb.) Grun. and halophobic species - *Eunotia pectinalis* (Dillw.) Rabenh., *Fragilaria leptostauron* (Ehrb.) Hust. disappear from the species composition. In general, there is an increase in the proportion of halophilic valves with dominants *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Cyclotella meneghiniana* Kütz. (up to 14.5%).

In relation to the water pH factor, a decrease in the proportion of acidophilic species, such as *Eunotia pectinalis* (Dillw.) Rabenh., *Eunotia praerupta* Ehrb., *Navicula placentula* (Ehrb.) Grun. is noted and the growth of alkaliphilic and alkalibiotic species *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth and *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm. There is also a gradual decrease in the proportion of valves of cold-loving species. All of the above may indirectly reflect an increase in the productivity of algal communities in the lake against the background of rising air temperatures. With regard to the geographical location factor, a decrease in the proportion of valves of boreal species and an increase in the proportion of cosmopolitan species were noted.

In zone III, represented by one sample from a depth of 0-1 cm, 34 diatom taxa were noted (43% of the total number of species). Here, valves of planktonic alkalibiont species predominate with the dominants *Aulacoseira subarctica* and *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm., the *Fragilaria crotonensis* Kitt. disappeared from the dominants. *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Cyclotella bodanica* Eulenk. developed at the subdominant level.

In an increased proportion of valves of planktonic-benthic species, the halophilic *Cyclotella meneghiniana* Kütz. is monodominant. With regard to the water pH factor, there is an increase in the proportion of valves of species that prefer alkaline environmental conditions with the dominant the same *Cyclotella meneghiniana* Kütz. and the subdominant *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun., with regard to the temperature factor, there is a complete absence of valves of cold-loving species. All of the above reflects an increase in the productivity of algae in the lake against the backdrop of rising air temperatures.

4. Conclusions

During the development of the lake, three periods were identified. In the range of 600-1200 years ago unfavourable conditions for the development of diatoms were noted, presumably due to low environmental temperatures. Period from 150-450 years ago reflects good conditions for the development of diatoms and, as a consequence, an increase in the productivity of algal communities in the lake against the backdrop of rising air temperatures. In the third, modern period, the processes of increasing the productivity of algal communities continue, which can also be associated with an increase in air temperature. The use of data obtained from other paleoindicators will make it possi-

ble to clarify the periods and features of changes in the environment.

5. Acknowledgments

Field and laboratory works founded by Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program (Priorities-2030).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Biodiversity of environmental indicator algae. Tel Aviv: Pilies Studio. 498 pp. (in Russian)

Battarbee R.W. Diatom analysis. 1986. In Berglund B.E. (ed) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. J. Wiley & Sons. P.527-570.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Raan P.D. 2001. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 41: 9 p.

Palagushkina O.V. 2004. Ecology of phytoplankton in karst lakes of the Middle Volga region, Cand. Sci. (Biol.) Dissertation, Kazan, 197 p. (in Russian)

Palagushkina O.V., Unkovskaya E.N., Nazarova L.B. 2024. Influence of Climate Changes on the Structure of Summer Phytoplankton in a Forest Zone Lake (Raifskoe, Volga-Kama Nature Reserve). *Contemporary Problems of Ecology* 17 (2): 175–185. DOI: [10.15372/SEJ20240201](https://doi.org/10.15372/SEJ20240201)

Unkovskaya E.N., Galiakhmetova L.K., Shurmina N.V. et al. 2020. Hydrochemical indicators dynamics of the lakes of Volzhsko-Kamsky State Nature Biosphere Reserve. *IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.* 607: 012025

Диатомовые водоросли донных осадков озера Раифское (Волжско-Камский заповедник, Республика Татарстан): развитие озера за последние 1200 лет

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYПалагушкина О.В.¹, Ли Х.Ч.², Унковская Е.Н.³, Фролова Л.А.⁴¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Россия² Факультет геологических наук, Национальный тайваньский университет, Тайбэй, 106, Тайвань, Китайская республика³ Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник 422537, Республика Татарстан, Зеленодольский район, пос. Садовый, ул. Вехова, 1, Россия⁴ Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, 630090, Новосибирская обл., Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 17

АННОТАЦИЯ. Исследования диатомовых колонки донных осадков озера Раифское выявило 79 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода двух классов (центрические – 14, пеннатные – 65). Результаты датирования ¹⁴C, ²¹⁰Pb и ¹³⁷Cs показывают, что керн демонстрирует непрерывное отложения, начиная с 1200 кал. лет назад. В процессе развития озера было выявлено три периода, в промежутке 600-1200 к.л.н. отмечены неблагоприятные условия для развития диатомовых, предположительно, из-за низких температур окружающей среды. Период с 150-450 к.л.н. отражает хорошие условия для развития диатомовых и, как следствие, повышение продуктивности водорослевых сообществ в озере на фоне повышения температуры воздуха. В третий, современный период, процессы повышения продуктивности водорослевых сообществ продолжаются, что также можно связывать с ростом температуры воздуха.

Ключевые слова: донные осадки, диатомовые, озеро Раифское, изменение климата

Для цитирования: Палагушкина О.В., Ли Х.Ч., Унковская Е.Н., Фролова Л.А. Диатомовые водоросли донных осадков озера Раифское (Волжско-Камский заповедник, Республика Татарстан): развитие озера за последние 1200 лет // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 556-561. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-556

1. Введение

Палеоэкологические и палеолимнологические исследования могут способствовать изучению проявления глобальных процессов на региональных уровнях. Регион Среднего Поволжья – это крупный фрагмент Русской равнины площадью 146,4 тыс. км², находящийся в центральной части Волжско-Камского бассейна. Отсутствие в литературе данных о палеоэкологических и палеолимнологических исследованиях в регионе Среднего Поволжья делает изучения подобного рода актуальными.

Ценными архивами о климате прошлого могут стать донные отложения карстовых озер, расположенных на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) федерального значения. Нахождение этих озер на ООПТ, где антропогенные воздействия минимальны, дает возможность выделить именно влияние климата на природные сообщества.

В качестве архива палеоэкологической

информации использовались донные отложения озера Раифского - самого большого по площади и объему карстового озера Раифского участка Волжско-Камского заповедника. По результатам гидрологической съемки заповедника длина озера составляет 1296 м при максимальной ширине 320 м, максимальная глубина равна 20,3 м, площадь озера составляет 31,99 га, объем воды равен 2077,63 тыс. м³ (Палагушкина и др., 2024). На протяжении всей истории своего развития озеро не испытывало прямого антропогенного воздействия (Unkovskaya et al., 2020). Этот проточный карстовый водоем, в своем питании и режиме связан с рекой Сумкой и ее деятельностью. Гидрохимические и гидробиологические исследования озера Раифское проводятся с 1996 года с использованием единой методики. В видовом составе фитопланктона диатомовые водоросли составляют около 13 % общего состава (Палагушкина, 2004).

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: opalagushkina@mail.ru (О.В. Палагушкина)

Поступила: 14 июня 2024; Принята: 02 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

В июне 2023 г. с помощью пробоотборника UVITEC в самой глубокой точке была взята колонка донных отложений длиной 130 см озера (23-RT-01A, Raifa Lake, 55°54.375' N, 048°43.680' E). Колонка донных отложений была нарезана послойно с высокой степенью разрешения (1 см) в полевых условиях. Датирование части образцов радиоуглеродным методом (AMS 14C) было выполнено в Лаборатории NTUAMS (Национальный Тайваньский университет), максимальный возраст колонки составил 1200 календарных лет назад (кал.л.н.). Техническая обработка 14 образцов донных отложений на диатомовый анализ проводилась с использованием метода водяной бани (Battarbee, 1986) в НИЛ «Палеоклиматологии, палеоэкологии и палеомагнетизма» Казанского (Приволжского) федерального университета. Для изготовления постоянных препаратов использовалась высокопреломляющая смола Naphrax. При определении видового состава использовались отечественные и зарубежные определители. Подсчет створок проводился по параллельным трансектам до 300 в образце с использованием светового микроскопа AxioPlan Zeiss и иммерсионной среды. Общее число створок бралось за 100%. Эколого-географическая характеристика диатомовых давалась по отношению к местообитанию, солености, pH воды, по географическому распространению и температурной приуроченности (Барина и др., 2006). Зонирование колонки выполнено при помощи кластерного анализа в программе PAST (Hammer et al., 2001).

3. Результаты и обсуждение

В видовом составе исследуемой колонки было определено 79 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода двух классов (центрические – 14, пеннатные – 65). Кластеризация результатов разделила колонку на три зоны: зона I - 40-130 см или 600-1200 к.л.н., зона II - 10-31 см или 150-450 к.л.н. и зона III – 0-1 см, поверхностные донные осадки. В десяти образцах зоны I (40-130 см или 600-1200 к.л.н.) было отмечено 38 видов (5 – класса центрические, 33 – пеннатные), но достоверного количества створок в образцах не было. Недостаточное количество створок диатомовых может быть предположительно связано с неблагоприятными условиями развития из-за низких температур окружающей среды в этот исторический промежуток.

Хорошее развитие диатомовых и достоверное количество створок в образцах было приурочено к зоне II (10-31 см или 150-450 к.л.н.). В видовом составе зоны было определено 57 таксонов рангом ниже рода, что составило 72% от общего числа таксонов в колонке. По местообитанию в пределах зоны отмечается увеличение доли створок планктонных видов с доминантами *Fragilaria crotonensis* Kitt. – от 11,7 до 35,2%, *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth от 17 до 28%, *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun. От 0,5% до 19,1%, что косвенно отражает

повышение уровня воды в озере. Среди субдоминантов отмечены *Cyclotella bodanica* Eulenst. in Grun., *Cyclotella iris* Brun et Hérib., но из видового состава планктонных видов исчезли *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simons., *Stephanodiscus niagarae* Ehrb., что может косвенно отражать и процессы повышение температуры воздуха. В отношении фактора солености из видового состава исчезают галофобные холодолюбивые *Eunotia praerupta* Ehrb. и *Navicula placentula* (Ehrb.) Grun., галофобные виды - *Eunotia pectinalis* (Dillw.) Rabenh., *Fragilaria leptostauron* (Ehrb.) Hust. В целом отмечается рост доли створок галофильных с доминантами *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Cyclotella meneghiniana* Kütz. (до 14,5%). В отношении фактора pH среды отмечается уменьшение доли ацидофильных видов, таких как *Eunotia pectinalis* (Dillw.) Rabenh. *Eunotia praerupta* Ehrb., *Navicula placentula* (Ehrb.) Grun., рост алкалофильных и алкалобионтных видов *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth и *Cyclotella radiososa* (Grun.) Lemm. Также отмечается постепенное уменьшение доли створок холодолюбивых видов. Все перечисленное может косвенно отражать повышение продуктивности водорослевых сообществ в озере на фоне повышения температуры воздуха. В отношении фактора географической приуроченности отмечалось снижение доли створок бореальных видов и рост доли створок космополитных. В зоне III, представленной одним образцом с глубины 0-1 см, было отмечено 34 таксона диатомовых (43% от общего числа видов). Здесь преобладают створки планктонных алкалобионтных видов с доминантами *Aulacoseira subarctica* и *Cyclotella radiososa* (Grun.) Lemm., из числа доминантов исчез вид *Fragilaria crotonensis* Kitt., на уровне субдоминантов развивались *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Cyclotella bodanica* Eulenst. in Grun. В увеличенной доле створок планктонно-бентосных видов монодоминирует галофильный *Cyclotella meneghiniana* Kütz. В отношении фактора pH среды отмечается увеличение доли створок видов, предпочитающих щелочные условия среды с тем же доминантом *Cyclotella meneghiniana* Kütz. и субдоминантом *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun., в отношении температурного фактора отмечается полное отсутствие створок холодолюбивых видов. Все перечисленное отражает рост продуктивности водорослей в озере на фоне повышения температуры воздуха.

4. Заключение

В процессе развития озера было выявлено три периода, в промежуток 600-1200 к.л.н. отмечены неблагоприятные условия для развития диатомовых, предположительно, из-за низких температур окружающей среды. Период с 150-450 к.л.н. отражает хорошие условия для развития диатомовых и, как следствие, повышение продуктивности водорослевых сообществ в озере на фоне повышения температуры воздуха. В третий, современный период, процессы повышения продуктивности водорослевых сообществ продолжают, что также можно связать

вать с ростом температуры воздуха. Использование данных, полученных от других палеоиндикаторов, позволит уточнить периоды и особенности изменений в окружающей среде.

Благодарности

Полевые и лабораторные работы были выполнены в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (Приоритет-2030).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Список литературы

Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 498 с.

Battarbee R.W. Diatom analysis. 1986. In Berglund B.E. (ed) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. J. Wiley & Sons. P.527-570.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Raan P.D. 2001. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 41: 9 p.

Палагушкина О. В. 2004. Экология фитопланктона карстовых озер Среднего Поволжья: дис. канд. биол. наук. Казань, 197 с.

Палагушкина О.В., Унковская Е.Н., Назарова Л.Б. 2024. Влияние климатических изменений на структуру летнего фитопланктона озера лесной зоны (Раифское, Волжско-Камский заповедник). *Сибирский экологический журнал* 2: 187–199, DOI: [10.15372/SEJ20240201](https://doi.org/10.15372/SEJ20240201)

Unkovskaya E.N., Galiakhmetova L.K., Shurmina N.V. et al. 2020. Hydrochemical indicators dynamics of the lakes of Volzhsko-Kamsky State Nature Biosphere Reserve. *IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.* 607: 012025