

Okenone and other fossil photopigments from the bottom sediments of Lake Shira, as a proxy of recent changes in the hydrological regime of the lake

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYZykov V.V.^{1*}, Rogozin D.Y.^{1,2}¹Institute of Biophysics, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences (IBP SB RAS), Akademgorodok Str., 50/50, Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk, 660036, Russia²Siberian Federal University (SibFU), 79 Svobodny Ave, Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk, 660041, Russia

ABSTRACT. Studying the pigment composition of bottom sediments of the meromictic Lake Shira allows us to learn about the past of the reservoir. Analysis of carotenoids of frozen cores of the upper layers of bottom sediments, and comparison with field observations shows the relationship between the hydrological regime of the lake and the content of okenone, a carotenoid of purple sulfur bacteria.

Keywords: okenone, purple sulfur bacteria, meromixis, stratification, paleoclimate reconstruction

For citation: Zykov V.V., Rogozin D.Y. Okenone and other fossil photopigments from the bottom sediments of Lake Shira, as a proxy of recent changes in the hydrological regime of the lake // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 747-752. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-747

1. Introduction

Lake Shira (N 54.30, E 90.11) located in the northern part of the Minusinsk Basin, on the territory of the republic Khakassia (Russian Federation). Due to the presence of hydrogen sulfide at the edge of the photic zone during the whole year, in the middle layers of the water column exists a community of anoxygenic phototrophic bacteria of the lake, represented by purple sulfur bacteria (PSB) (Rogozin et al., 2012). The concentration of okenone - carotenoid of PSB, in the water column and bottom sediments is a biomarker of the meromictic state of the lake (Zykov et al., 2012).

For a long time, the lake had a stable meromictic mixing regime, but in 2014-2015 complete mixing was recorded and although the lake restored its previous mixing pattern in 2017, the concentration of hydrogen sulfide decreased and the position in the water column deepened, which negatively affected the PSB community (Rogozin et al., 2022).

The use of a freeze-corer made possible to collect the upper layers of bottom sediments as undisturbed as possible, fixing them in situ. This gives the opportunity to compare them with recent field observations of the anoxygenic community of the lake.

2. Materials and methods

In this research were used cores of bottom sediment from Lake Shira, collected by the freeze-corer

manufactured at the Institute of Biophysics SB of RAS in 2016, 2017, 2018 and 2023. From the frozen bottom sediments, bars measuring approximately 3*3 cm were sawn off longitudinally, which were then cut transversely in samples of 1 cm wide. Unlike the other cores, the one collected in 2023 was dried before extraction using an AK 4-50 freeze dryer (Proflab). Photopigments extracted from the samples, were then analyzed and quantified using high-performance liquid chromatography (HPLC) according to the method of Wright et al (Wright et al., 1991; Zykov et al., 2012).

3. Results and discussion

The Laboratory of Ecosystem Biophysics of the Institute of Biophysics SB RAS annually performs monitoring of the water column of Lake Shira. In recent years, due to changes in the lake, mainly the deepening of hydrogen sulfide-containing water layers, the PSB community has weakened (Rogozin et al., 2020). Thus, the concentration of bacteriochlorophyll A and okenone in water and sediment traps since 2018 has been recorded below the detection ability by the spectrophotometric method. Such changes should have affected the carotenoids of bottom sediments. Considering that the thickness of the topmost annual layer of the ice core is about 3-4 mm, and then narrows to 2 mm (for the upper part of the core), the difference between the 2023 core and the previous ones should be 2-4 cm.

*Corresponding author.

E-mail address: zykovvv@yandex.ru (V.V. Zykov)

Received: June 03, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



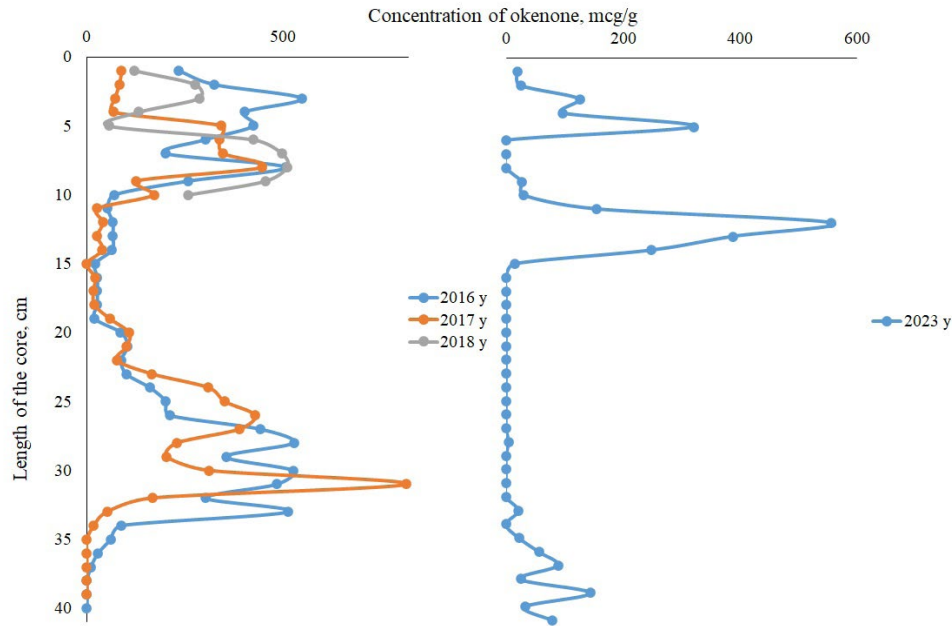


Fig.1. Distribution of okenone in ice cores of bottom sediments of Lake Shira calculated on the dry weight of the sample

Profiles of the vertical distribution of carotenoids extracted from bottom sediments were obtained. As can be seen in Figure 1, the increase in okenone content in the 3-8 cm section of the cores corresponds to 2003-2007, when the lake level increased due to an increase in water inflow. However, already in the upper layers of bottom sediments formed in 2014 and later, a decrease in okenone content. This is consistent with field observations; the above remains the same up to the spring of 2024.

The dynamics of the carotenoids of green algae and cyanobacteria - lutein and zeaxanthin (Fig. 2) in the upper part of the roll of 2023 also shows a sharp drop in the concentration of pigments. A similar pattern can be observed in areas of 15-20 and 35-40 cm. This can be caused by the deterioration of conservation conditions, since with the deepening of the oxygen

zone, the impact of destructive factors of carotenoids also increases.

Thus, a pattern has been shown between the lake stratification regime and changes in the composition of carotenoids in modern bottom sediments, which gives us valuable information for the paleoreconstruction of climate (precipitation amount) in the territory of Southern Siberia.

4. Conclusion

The dynamics of the content of okenone, as well as (to a lesser degree) lutein and zeaxanthin, shows that it responds to changes in levels of lake Shira. Thus, the influence of the lake's transition to a holomictic regime on the okenone content in bottom sediments is shown.

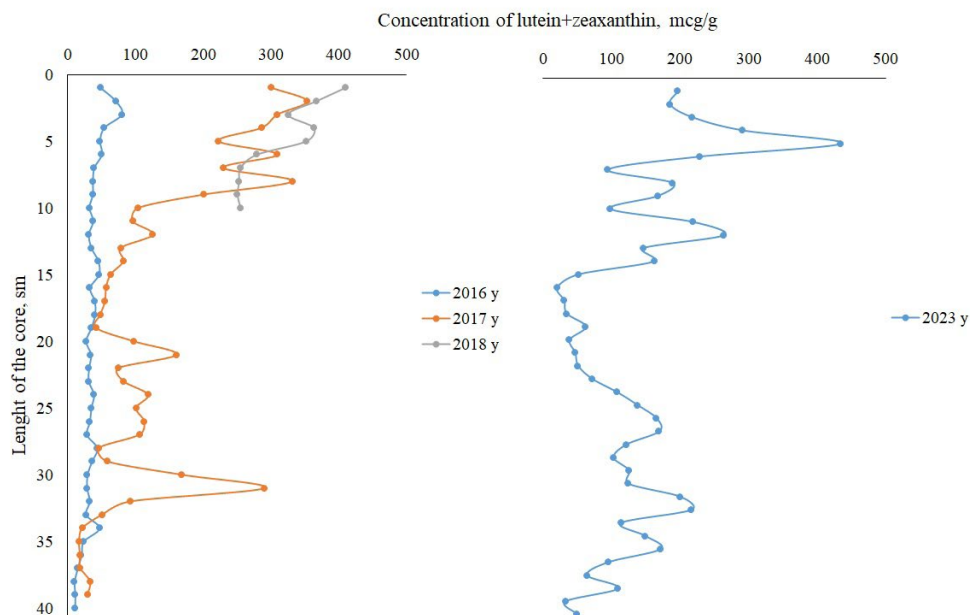


Fig.2. Distribution of the carotenoids lutein + zeaxanthin in ice cores from bottom sediments of Lake Shira calculated on the dry mass of the sample.

It can be assumed that the decrease in the okenone level reflects not only a decrease in the lake level, as was shown previously (Rogozin et al., 2017), but also its stabilization.

Acknowledgements

The research was funded by Russian Science Foundation, grant No. № 23-17-00067

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Rogozin D. Y., Zykov V. V., Degermendzhi A. G. 2012. Ecology of purple sulfur bacteria in the highly stratified meromictic lake Shunet (Siberia, Khakassia) in 2002-2009. *Microbiology* 81 (6): 727-735. DOI: [10.1134/S0026261712060148](https://doi.org/10.1134/S0026261712060148)

Rogozin D. Y., Tarnovsky M. O., Belolipetskii V.M. et al. 2017. Disturbance of meromixis in saline Lake Shira (Siberia, Russia): Possible Reasons and Ecosystem responses. *Limnologica* 66: 12-23.

Rogozin D. Y., Zykov V. V., Bulkhin A. O. et al. 2020. Okenone in bottom sediments as a proxy for changes in the water level of a saline stratified lake. *Doklady Earth Sciences*. 493 (1): 98-102. DOI: [10.1134/S1028334X20070168](https://doi.org/10.1134/S1028334X20070168)

Rogozin D. Y., Darin A. V., Zykov V. V. et al. 2022. Seasonal sedimentation in saline Lake Shira (Siberia, Russia) and meromixis: implications for regional paleoclimate reconstructions. *Limnology and Freshwater Biology* 5 (4): 1547-1549. DOI: [10.31951/2658-3518-2022-A-4-1547](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1547)

Wright S. W., Jeffrey S. W., Mantoura R. F. et al. 1991. Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. Wright, S. W., Jeffrey S. W., Mantoura R. F., Llewellyn C. A., Bjornland T., Repeta D. *Marine Ecology Progress Series*, 183-196.

Zykov V. V., Rogozin D. Y., Degermendzhi A. G. et al. 2012. Carotenoids in bottom sediments of lake Shira as a paleoindicator for reconstruction of lake states in Khakassiya, Russia. *Contemporary Problems of Ecology* 5 (4): 434-442. DOI: [10.1134/S199542551204018X](https://doi.org/10.1134/S199542551204018X)

Окенон и прочие ископаемые фотопигменты в донных отложениях озера Ши́ра, как индикатор недавних изменений в гидрологическом режиме водоема

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYЗыков В.В.^{1*}, Рогозин Д.Ю.^{1,2}¹Институт биофизики, Сибирское отделение Российской Академии Наук (ИБФ СО РАН), ул. Академгородок, 50/50, Красноярский край, Красноярск, 660036, Россия²Сибирский Федеральный Университет, пр-т Свободный 79, Красноярск, 660041, Россия

АННОТАЦИЯ. Изучение пигментного состава донных отложений меромиктического озера Ши́ра позволяет узнать данные о прошлом водоема. Анализ каротиноидов содержащихся в замороженных кернх верхних слоев донных отложений, и сопоставление с натурными наблюдениями показывает взаимосвязь между гидрологическим режимом озера и содержанием окенона - каротиноида пурпурных серных бактерий.

Ключевые слова: окенон, пурпурные серные бактерии, меромиксия, стратификация, реконструкция палеоклимата

Для цитирования: Зыков В.В., Рогозин Д.Ю. Окенон и прочие ископаемые фотопигменты в донных отложениях озера Ши́ра, как индикатор недавних изменений в гидрологическом режиме водоема // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 747-752. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-747](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-747)

1. Введение

Озеро Ши́ра (N 54.30, E 90.11) – расположено в северной части Минусинской котловины, на территории р. Хакасия (Российская федерация). Из-за наличия сероводорода на краю фотической зоны в течение всего года в средних слоях водной толщи в озере существует сообщество анаэробных фототрофных бактерий, представленное пурпурными серными бактериями (ПСБ) (Rogozin et al., 2012). Концентрация в водной толще и донных отложениях каротиноида ПСБ – окенона является биомаркером меромиктического состояния водоема (Zykov et al., 2012).

На протяжении долгого времени озеро имело устойчивый меромиктический режим перемешивания, однако в 2014-2015 г было зафиксировано полное перемешивание и хотя озеро в 2017 г восстановило прежний режим, концентрация сероводорода понизилась, а положение в толще углубилось, что негативно отразилось на сообществе ПСБ (Rogozin et al., 2022).

Использование корера-намораживателя позволило отбирать верхние слои донных отложе-

ний максимально ненарушенными, фиксируя их *in situ*. Это позволяет сравнивать их с натурными наблюдениями анаэробного сообщества озера.

2. Материалы и методы

В данной работе использовались керны донных отложений из озера Ши́ра, отобранные с помощью корера-намораживателя, собранного в Институте биофизики СО РАН, в 2016, 2017, 2018 и 2023 гг. От замороженных донных отложений были продольно отпилены бруски размерами ок 3*3 см, которые затем были поперечно разрезаны с шагом 1 см. В отличие от остальных кренов, отобранный в 2023 г перед экстракцией был высушен с помощью лиофильной сушилки АК 4-50 (Профлаб). Из полученных образцов были экстрагированы фотопигменты которые затем были проанализированы и оценены количественно с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) по методике Wright et al (Wright et al., 1991; Zykov et al., 2012).

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: zykovvv@yandex.ru (В.В. Зыков)

Поступила: 03 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



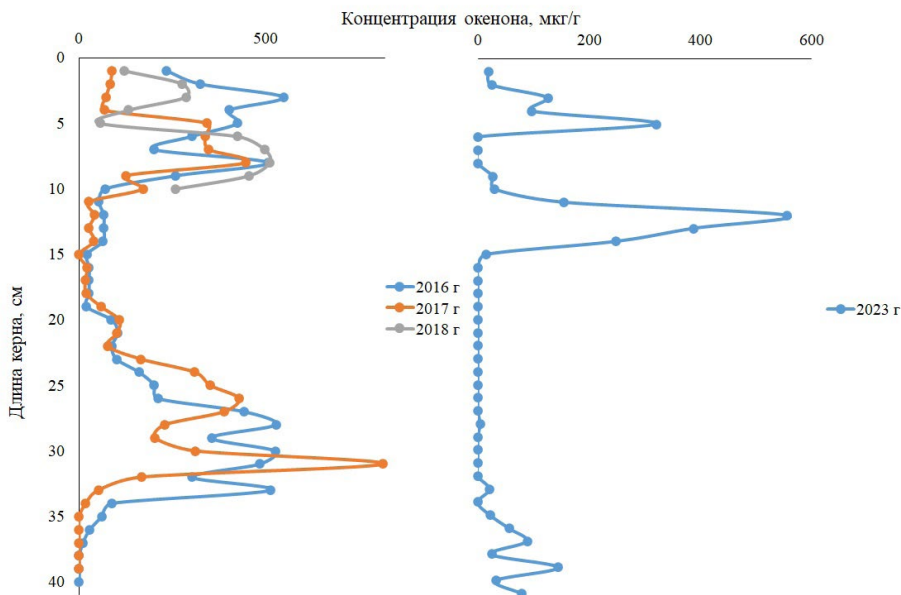


Рис.1. Распределение окенона в ледовых кернах донных отложений озера Ширы в расчете на сухой вес образца

3. Результаты и обсуждение

Лабораторией биофизики экосистем Института биофизики СО РАН ежегодно проводится мониторинг водной толщи озера Ширы. За последние годы, из-за изменений в толще озера, а именно углубления сероводородсодержащих слоев сообщество ПСБ ослабло (Rogozin et al., 2020). Так, концентрация бактериохлорофилла А и окенона в воде и седиментационных ловушках с 2018 г зафиксирована ниже порога обнаружения спектрофотометрическим методом. Такие изменения должны были отразиться на каротиноидах донных отложений. Учитывая, что толщина самого верхнего слоя ледяного керна ок. 3-4 мм, и затем сужается до 2 мм (для верхней части отложений), разница между керном 2023 г и предыдущими должна составлять 2-4 см.

В ходе работы были получены профили вертикального распределения каротиноидов, экстрагированных из донных отложений. Как видно на Рисунке 1, повышение содержания окенона на участке 3-8 см кернов соответствует 2003-2007 гг когда произошло повышение уровня озера за счёт увеличения притока воды. Однако уже верхних слоях донных отложений, сформировавшихся в 2014 и позже, начинается понижение содержания окенона. Это согласуется с натурными наблюдениями, вышеупомянутая сохраняется таким вплоть до весны 2024 г.

Динамика каротиноидов зеленых водорослей и цианобактерий - лютеина и зеаксантина (Рис. 2) в верхней части керна 2023 г тоже демонстрирует резкое падение концентрации пигментов. Аналогичный паттерн можно наблюдать и на участках 15-20 и 35-40 см. Возможно, это связано с ухудшением усло-

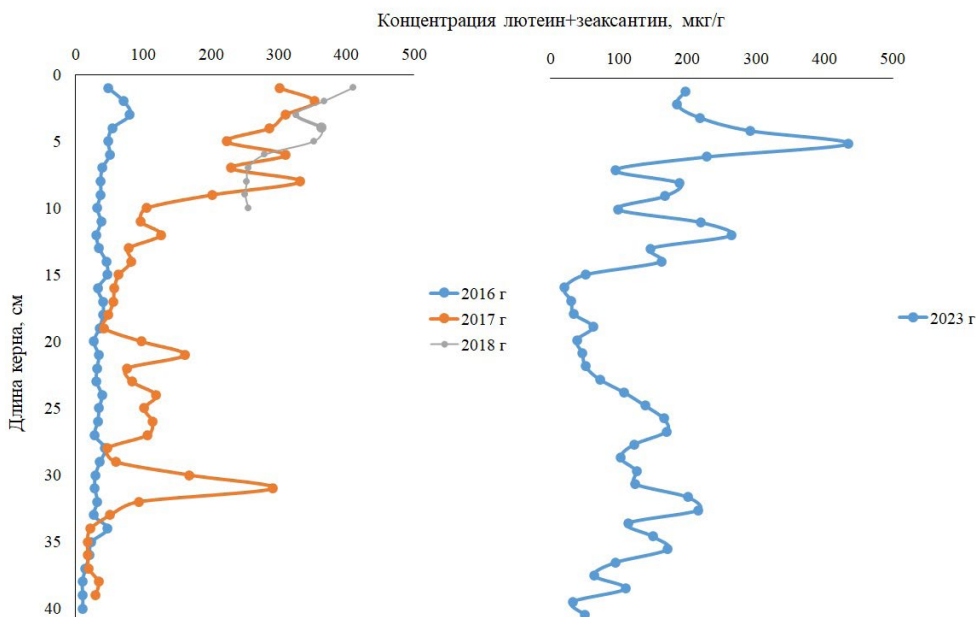


Рис.2. Распределение каротиноидов лютеина и зеаксантина в ледовых кернах донных отложений озера Ширы в расчёте на сухой вес пробы.

вии консервации, так как из-за углубления кислородной зоны, так же повышается воздействие разрушительных факторов каротиноиды.

Таким образом показана закономерность между режимом стратификации озера и изменением состава каротиноидов в новейших донных отложениях, что дает предоставляет нам ценную информацию для палеореконструкции климата (осадков) на территории Южной Сибири.

4. Заключение

Динамика содержания окенона, а также (в меньшей степени) лютеина и зеаксантина показывает, что она откликается на изменение уровня озера Ширы. Таким образом показано воздействие перехода озера в голомиктический режим при содержании окенона в донных отложениях. Можно предположить, что понижение уровня окенона отражают не только понижение уровня озера, как было показано раньше (Rogozin et al., 2017), но и его стабилизацию.

Финансирование

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ, грант № 23-17-00067.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- Rogozin D.Y., Zыkov V.V., Degermendzhi A.G. 2012. Ecology of purple sulfur bacteria in the highly stratified meromictic lake Shunet (Siberia, Khakassia) in 2002-2009. *Microbiology* 81 (6): 727-735. doi:[10.1134/S0026261712060148](https://doi.org/10.1134/S0026261712060148)
- Rogozin D. Y., Tarnovsky M. O., Belolipetskii V. M. et al. 2017. Disturbance of meromixis in saline Lake Shira (Siberia, Russia): Possible Reasons and Ecosystem respons. *Limnologica* 66: 12-23.
- Rogozin D.Y., Zыkov V.V., Bulkhin A.O. et al. 2020. Okenone in bottom sediments as a proxy for changes in the water level of a saline stratified lake. *Doklady Earth Sciences*. 493 (1): 98-102. doi:[10.1134/S1028334X20070168](https://doi.org/10.1134/S1028334X20070168)
- Rogozin D. Y., Darin A. V., Zыkov V. V. et al. 2022. Seasonal sedimentation in saline Lake Shira (Siberia, Russia) and meromixis: implications for regional paleoclimate reconstructions. *Limnology and Freshwater Biology* 5 (4): 1547-1549. doi:[10.31951/2658-3518-2022-A-4-1547](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-4-1547)
- Wright S. W., Jeffrey S. W., Mantoura R. F. et al. 1991. Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 183-196
- Zыkov V. V., Rogozin D. Y., Degermendzhi A. G. et al. 2012. Carotenoids in bottom sediments of lake Shira as a paleoindicator for reconstruction of lake states in Khakassiya, Russia. *Contemporary Problems of Ecology* 5 (4): 434-442. doi:[10.1134/S199542551204018X](https://doi.org/10.1134/S199542551204018X)