

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ В МАЛЫХ ОЗЕРАХ ЕВРОПЕЙСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ И ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

В.Л. Разумовский

ФГБУН Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3;
адрес для переписки: *nethaon@mail.ru*

Реферат. Работа посвящена сравнительному анализу таксономической структуры диатомовых комплексов и их трансформации под воздействием внешних факторов антропогенного и природного генезиса в малых озерах Кольского полуострова и Центрального Кавказа. Основным методом сравнительного анализа во времени и пространстве был выбран метод графического анализа таксономических пропорций. В работе освещено сходство и различие трансформаций диатомовых комплексов в сопоставляемых регионах Европейской части России. К числу задач работы относится апробация информативности метода графического анализа применительно к диатомовым комплексам из донных отложений двух исследованных озер Центрального Кавказа. Значимым аспектом исследований явилось формирование алгоритма корректного сопоставления диатомовых комплексов из озер Кольского полуострова и озер Центрального Кавказа. Дополнительная значимость работы определяется малой изученностью диатомовых комплексов из озерных отложений Кавказа. Практические результаты, полученные при проведенных исследованиях, могут быть успешно применены при биомониторинге и палеореконструкциях.

Ключевые слова. Диатомовые комплексы, малые озера, таксономические пропорции, негативное воздействие.

Введение

Донные отложения (ДО) озерного генезиса традиционно используются для реконструкций экологических событий в позднем голоцене. Это обусловлено тем, что озерные осадки обычно содержат микрофоссилии, по которым возможна достоверная расшифровка событийных рядов прошлого, причем с высоким временным разрешением. При реконструкции палеоклиматических событий наиболее желательными объектами признаны малые озера ($<1\text{ км}^2$). Это определяется следующим: для многих из них характерна простота очертаний, отсутствие сложной дифференциации рельефа дна и низкие темпы осадконакопления (Моисеенко и др., 2012; Соломина и др., 2013).

При оценке палеоэкологических трансформаций, происходящих в озерных экосистемах, широко применяется анализ диатомовых комплексов. Диатомовые водоросли (класс *Bacillariophyceae*, отдел *Ochrophyta*) включены в при-

ритетную биоиндикационную группу, поскольку створки диатомей хорошо сохраняются в осадках благодаря наличию кремнеземного панциря (Давыдова, 1985; Полякова, 2010).

Цели и задачи

Цель: найти оптимальный алгоритм для проведения сравнительного анализа сценариев трансформаций в таксономической структуре диатомовых комплексов в малых озерах Центрального Кавказа и Кольского полуострова. Для осуществления этой цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Установить возможность сопоставления диатомовых комплексов из 50 озер Кольского полуострова и только из двух озер Центрального Кавказа.
2. Сопоставить основные признаки негативного воздействия природного и антропогенного генезиса на экосистемы озер, расположенных на Кольском полуострове и Центральном Кавказе.
3. Выявить основные различия негативных трансформаций диатомовых комплексов из исследуемых водоемов в сопоставляемых регионах и установить их причины.

Материалы и методы

Структуру и объем первичного материала составили поверхностные осадки ДО из 50 озер на Кольском полуострове и образцы из колонок ДО, которые были отобраны из двух озер на Кавказе (Разумовский, 2010; Разумовский, 2014).

Оз. Каракель (43.44° с.ш., 41.74° в.д.) расположено в западной высокогорной провинции Большого Кавказа, в долине р. Теберды. Оз. Донгуз-Орун (43.22° с.ш. и 42.49° в.д.) расположено на северном склоне Большого Кавказского хребта.

Отбор поверхностных осадков осуществлялся на Кольском полуострове при помощи стратометра ударно-замыкающего типа в центральной части озер, с лодки.

Колонки ДО из озер Донгуз-Орун и Каракель отбирались при помощи озерного бура типа «бур Несье» (Nesje, 1992). Отбор проводился с плота в наиболее глубоких участках озер.

Отбор образцов на диатомовый анализ из поверхностных осадков на Кольском полуострове проводился в интервале 0-1 см. На Кавказе, на содержание створок диатомовых водорослей были проанализированы верхние участки отобранных колонок: 0-48 см из оз. Каракель с интервалом в 1 см и 0-25 см из оз. Донгуз-Орун с интервалом в 0.5 см. Общая совокупность проанализированных на диатомовый анализ проб была сопоставима с числом проб, отобранных ранее, из поверхностных осадков на Кольском полуострове.

Отбор образцов, обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей проводились по стандартным методикам (Давыдова, 1985; Renberg, 1990; Полякова, 2010).

Помимо традиционных форм диатомового анализа в работе был применен метод графического анализа (МГА) таксономических пропорций в диатомовых комплексах (Разумовский, Моисеенко, 2009).

МГА состоит в ранжировании таксономических пропорций в диатомовых комплексах. Таксоны ранжируются по показателю относительной численности. При этом по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов, а по оси ординат – их относительная численность. В результате в линейной системе координат строится исходная гистограмма.

Результаты и обсуждения

МГА имеет достаточно длительную историю разработки и экспериментальной апробации. Первый этап исследований начался в начале 90-х годов XX века. Окончательно метод был сформулирован и методологически оформлен в конце нулевых годов нашего столетия (Разумовский, Моисеенко, 2009).

Наиболее значимым объектом исследований и разработки метода стал Кольский полуостров. Это определялось большим количеством ($<1 \text{ км}^2$) малых бессточных озер, которые на нем расположены. Кроме того, озера были выбраны так, чтобы их расположение соответствовало разному уровню аэротехногенного воздействия от промышленных предприятий. Степень негативной трансформации таксономических пропорций выражается в изменении исходных очертаний гистограмм (рис. 1).

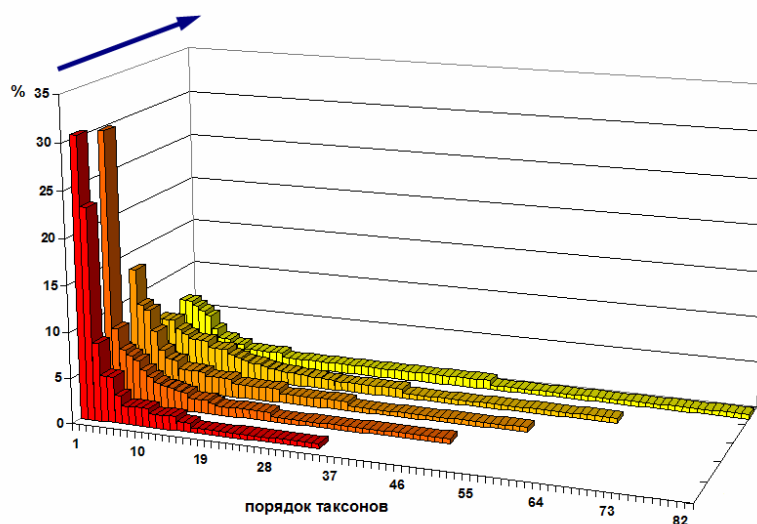


Рисунок 1. Типовой ряд трансформации структуры диатомовых комплексов в малых озерах Кольского полуострова ($< 1 \text{ км}^2$) при увеличении негативной нагрузки (Абакумов, 1991)
 Синей стрелкой указано возрастание антропогенной нагрузки; ■ – экологическое благополучие; ■ – экологическое благополучие с элементами экологического напряжения; ■ – экологическое напряжение с элементами экологического регресса; ■ – экологический регресс; ■ – экологический регресс с элементами метаболического регресса

Для сопоставления характера трансформации, определенной по диатомовым комплексам из озер Кольского полуострова, были выбраны пробы из колонок ДО озер, расположенных на Центральном Кавказе (Разумовский, Разумовский, 2013; Разумовский и др. 2014).

Такой вариант сравнения был обоснован наибольшей удаленностью объектов исследования на территории Европейской части России. Это позволило наиболее объективно оценить действенность и информативность МГА.

Сценарии негативной трансформации таксономической структуры диатомовых комплексов были отмечены в образцах из колонок ДО в двух горных озерах: Каракель и Донгуз-Орун (рис. 2, 3).

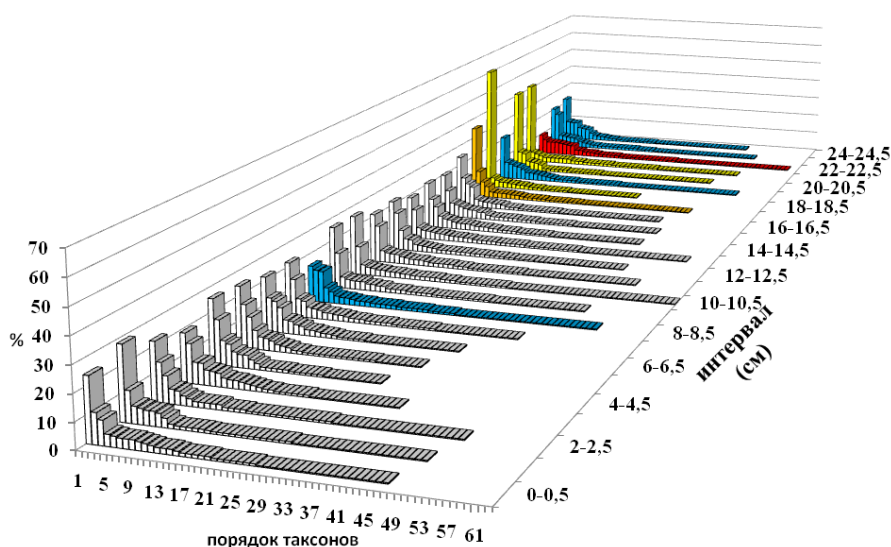


Рисунок 2. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Донгуз-Орун в линейной системе координат (Разумовский и др. 2014)
 ■ — переотложенные комплексы; ■ — частично переотложенные комплексы;
 ■ — диатомовые комплексы со сверхдоминированием одного таксона

Следует отметить, что природа негативных трансформаций таксономической структуры диатомовых комплексов в этих озерах иная, чем в озерах, расположенных на Кольском полуострове. Негативное воздействие определяется природными процессами (селевыми потоками), а не антропогенным воздействием.

Соответственно, и сценарий негативного воздействия и последующего восстановления таксономической структуры диатомовых комплексов при построении событийного ряда трансформации, иной. На начальном этапе очертания построенных диаграмм имеют признаки, характерные для переотложенных комплексов: линейный характер распределения таксономических пропорций (рис. 2, 3). На Кольском полуострове в поверхностных осадках из малых озер этот тип распределения не был зафиксирован.

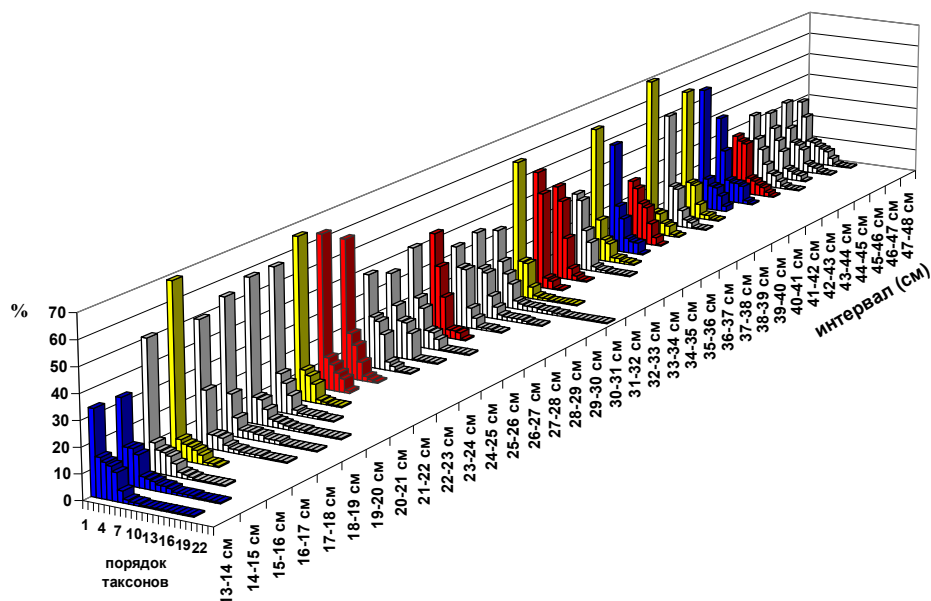


Рисунок 3. Таксономическая структура диатомовых комплексов в ДО оз. Каракель в интервале 13-48 см в линейной системе координат (Разумовский, Разумовский, 2013)

■ – *переотложенные комплексы*; ■ – *частично переотложенные комплексы*;
■ – *диатомовые комплексы со сверхдоминированием одного таксона*

На следующем этапе отмечено ультрадоминирование первого по относительной численности вида. Такой характер распределения таксономических пропорций также нехарактерен для изученных современных диатомовых комплексов на Кольском полуострове.

В дальнейшем происходит восстановление экспоненциальной формы распределения таксономических пропорций, которое характерно для диатомовых комплексов из малых озер Кольского полуострова, не затронутых или мало затронутых антропогенным воздействием промышленного генезиса.

Выводы

1. Выявлены негативные воздействия природного и антропогенного генезиса, которые различаются по своей длительности, что и определяет различные сценарии ответной трансформации таксономической структуры диатомовых комплексов.

2. Кратковременное негативное воздействие представлено мгновенным регрессом таксономической структуры и поэтапным его восстановлением, в отличие от выявленного ранее постепенного и поэтапного процесса деградации как следствия постепенно усиливающегося негативного воздействия.

3. Проведенные исследования и полученные результаты подтверждают сделанные ранее выводы о высоком уровне информативности МГА примени-

тельно к диатомовым комплексам из ДО двух озер, расположенных на территории Центрального Кавказа.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИВП РАН тема № 0147-2019-0004, п. 4.2.

Список литературы

Абакумов В.А. 1991. Экологические модификации и развитие биоценозов. Экологические модификации и критерии экологического нормирования. – В сб.: Тр. Междунар. симпозиума, Нальчик 1-12 июня 1990. – Л. Гидрометеиздат, с. 18-40.

Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л., Наука, 244 с.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В., Гашкина Н.А., Шевченко А.В., Разумовский В.Л., Машуков А.С., Хорошавин В.Ю. 2012. Палеоэкологические исследования горных озер. – Водные ресурсы, т. 39, №5, с. 543-557.

Полякова Е.И. 2010. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций. – М., Изд-во МГУ, с. 126-160.

Разумовский В.Л. 2014. Выявление долговременных геоэкологических изменений малых горных озер методами диатомового анализа (Западный и Центральный Кавказ). – Дис. ... канд. геогр. наук. – М., 164 с.

Разумовский Л.В. 2010. Природные и антропогенные трансформации водных экосистем Европейской части России по результатам диатомового анализа. – Дис. ... докт. геогр. наук. – М., 294 с.

Разумовский Л.В., Калугин И.А., Дарьин А.В., Шелехова Т.С., Разумовский В.Л. 2014. Реконструкция температурного режима двух горных озер Кавказа по результатам диатомового анализа. – Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, № 4, с. 67-75.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. 2009. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа. – Доклады АН. Общая биология, т. 429, № 3, с. 274-277.

Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. 2013. Регистрация новейших экосистемных событий в озере Каракель по переотложенным диатомовым комплексам. – Вестник Тюменского Государственного Университета. Экология, № 12, с. 121-127.

Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю., Бушуева И.С., Дарин А.В., Долгова Е.А., Жомелли В., Иванов М.Н., Мацковский В.В., Овчинников Д.В., Павлова И.О., Разумовский Л.В., Чепурная А.А. 2013. Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе. – Лёд и Снег, № 2 (122), с. 102-111.

Nesje A. 1992. A piston corer for lacustrine and marine sediments. – Arctic and Alpine Research, vol. 24, No. 3, pp. 257-259.

Renberg I. 1990. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. – J. of Paleolimnology, vol. 4, pp. 87-90.

Статья поступила в редакцию: 02.11.2020 г.

После переработки: 14.05.2021 г.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF DIATOM COMPLEXES IN SMALL LAKES OF THE EUROPEAN ARCTIC AND CENTRAL CAUCASUS

V. L. Razumovsky

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences,
3 Gubkina str., Moscow, 119333, Russian Federation;
address for correspondence: nethaon@mail.ru

Abstract. The work is devoted to a comparative analysis of the diatom complexes taxonomic structure and their transformation under the influence of external factors of anthropogenic and natural genesis for small lakes of the Kola Peninsula and the Central Caucasus. As main method of comparative analysis of the diatom complexes structure transformation in time and space was chosen the method of taxonomic proportions graphical analysis. The paper highlights the similarities and differences in the transformations of diatom complexes in the compared regions of the European part of Russia. Among the tasks of the work is the approbation of the informative value of the graphical analysis method in relation to diatom complexes from the bottom sediments of the two studied lakes of Central Caucasus. A significant aspect of the research was the determination of an algorithm for the correct comparison of diatom complexes from the lakes of the Kola Peninsula and the lakes of the Central Caucasus. The additional significance of the presented work is determined by the low level of study of diatom complexes from lake sediments of the Caucasus region. The practical results obtained from the conducted research can be successfully applied in biomonitoring and paleoreconstructions.

Keywords. Diatom complexes, small lakes, taxonomic proportions, negative impact.

References

- Abakumov, V.A. 1991. *Ekologicheskie modifikacii i razvitie biocenozov. «Ekologicheskie modifikacii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya»*. [Ecological modifications and development of biocenoses. "Ecological modifications and criteria of ecological normalization"] Tr. Mezhdunar. simpoziuma, Nal'chik 1-12 iyunya 1990. Leningrad, Gidrometeoizdat. pp. 18-40.
- Davydova N.N. 1985. *Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnyh uslovij vodoemov v golocene* [Diatoms-indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene]. Leningrad, Nauka, 244 p.
- Moiseenko T.I., Razumovsky L.V., Gashkina N.A., Shevchenko A.V., Razumovsky V.L., Mashukov A.S., Khoroshavin V.Yu. 2012. Paleoecological studies of mountain lakes. *Vodnye resursy – Water resources*, vol. 39, no. 5, pp. 543-557.
-

Polyakova E.I. 2010. Diatomovyj analiz. Metody paleogeograficheskikh rekonstrukcij [Diatom analysis. Methods of paleogeographic reconstructions]. Moscow, Izd-vo MGU, pp. 126-160.

Razumovskiy V.L. 2014. *Vyyavlenie dolgovremennykh geoekologicheskikh izmenenij mal'kh gorn'nykh ozer metodami diatomovogo analiza (Zapadnyj i Central'nyj Kavkaz)* [Identification of long-term geoecological changes in small mountain lakes by methods of diatom analysis (Western and Central Caucasus)]. Dis. ...kand. geogr. nauk. Moscow, 164 p.

Razumovskiy L.V. 2010. *Prirodnye i antropogennye transformacii vodnykh ekosistem evropejskoj chasti Rossii po rezul'tatam diatomovogo analiza* [Natural and anthropogenic transformations of water ecosystems in the European part of Russia based on the results of diatom analysis]. Dis. ...dokt. geogr. nauk. Moscow, 294 p.

Razumovskiy L.V., Kalugin I.A., Dar'in A.V., Shelekhova T.S. Razumovskiy V.L. 2014. Rekonstrukciya temperaturnogo rezhima dvuh gorn'nykh ozer Kavkaza po rezul'tatam diatomovogo analiza [Reconstruction of the temperature regime of two mountain lakes of the Caucasus based on the results of diatom analysis]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie – Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management*, no. 4, pp. 67-75.

Razumovskiy L.V., Moiseenko T.I. 2009. Estimation of spatiotemporal transformations of lake ecosystems by the method of diatom analysis. *Doklady AN. Obshchaya biologiya – Reports of the Academy of Sciences. General biology*, vol. 429, no.3, pp. 274-277.

Razumovskiy L.V., Razumovskiy V.L. 2013. Record of the recent ecosystem events in Lake Karakel on the basis of redeposited diatom assemblages. *Vestnik Tyumenskogo Gosudarstvennogo Universiteta. EHkologiya – Tyumen State University Herald. Ecology*, no. 12, pp. 100-105.

Solomina O. N., Kalugin I. A., Alexandrin M. Yu., Bushueva I. S., Darin A.V., Dolgova E. A., Zhomelli V., Ivanov M. N., Matskovsky V. V., Ovchinnikov D. V., Pavlova I. O., Razumovskiy L. V., Chepurnaya A. A. 2013. Coring of Karakel" Lake sediments (Teberda River valley) and prospects for reconstruction of glaciation and holocene climate history in the Caucasus. *Lyod i Sneg – Ice and Snow*, no. 2 (122), pp. 102-111.

Nesje A. 1992. A piston corer for lacustrine and marine sediments. – *Arctic and Alpine Research*, vol. 24, No. 3, pp. 257-259.

Renberg I. 1990. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. – *J. of Paleolimnology*, vol. 4, pp. 87-90.