

Диатомовая летопись эволюции оз. Грязевое (Магаданская область) в голоцене

Holocene diatom record of Gryazevoe Lake evolution (Magadan region)

Черепанова М.В.¹, Романова А.В.², Минюк П.С.³

Marina V. Cherepanova, Alexandra V. Romanova, Pavel S. Minyuk

¹ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (Владивосток, Россия)

³Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН
имени Н.А. Шило (Магадан, Россия)

cherepanova@biosoil.ru

Изучены диатомовые водоросли из колонки Гз-1 (оз. Грязевое, Магаданская область), которые представлены 189 видами и внутривидовыми таксонами. На основе изменения таксономического состава и экологической структуры ископаемых сообществ диатомей было выделено три локальные зоны (ДзГз), соответствующие разным этапам эволюции озёрной экосистемы в течение позднего плейстоцена-голоцена. Установлена чуткая реакция диатомей на изменения гидрологического и гидрохимического режимов озера, связанные с палеоклиматическими колебаниями.

Ключевые слова: диатомовые водоросли; палеолимнология; голоцен; северо-восток России

Diatoms from core Gz-1 (Lake Gryazevoe, Magadan region) belonging to 189 species and intraspecific taxa were studied. Three local zones (LzGz) were identified based on changes in the taxonomic composition and ecological structure of fossil diatom assemblages. They correspond to different stages of the lake ecosystem evolution during the Late Pleistocene-Holocene. A sensitive reaction of diatoms to hydrological and hydrochemical changes of the lake regimes associated with paleoclimatic fluctuations has been established.

Key words: diatom algae; paleolimnology; Holocene; Northeast Russia

Магаданская область отличается большим количеством озёр разного генезиса и размера, только водоёмов площадью > 1 га насчитывается около 10 150, при этом суммарный объём озерных вод составляет 2,86 км³ (Измайлова, 2018).

Изучению таксономического разнообразия современных альгофлор водоемов региона посвящено довольно много работ, но в основном они касаются р. Колымы и водотоков в районе Колымской ГЭС. Исследований диатомовых водорослей озёр относительно немного (Харитонов, 1981, 2006, 2010; Кузьмин и др., 1990; Черепанова, 2004 и др.). Ископаемые же диатомей анализировались лишь в плейстоцен-голоценовых колонках из оз. Гранд (Черепанова и др., 2013).

Целью исследования являлось: на основе изменений в ископаемых сообществах диатомей из колонки Гз-1, восстановить голоценовую историю экосистемы озера Грязевое.

Озеро Грязевое расположено в небольшой седловине вблизи пос. Талая (61°08'21.18" с.ш., 152°19'57.22" в.д.) в Магаданской области. Длина его составляет 270 м, ширина – 180 м, площадь поверхности воды – 0,03 км², максимальная глубина – 2,7 м, абсолютные отметка уровня воды – 713 м. Озеро слабопроточное. Вода в оз. Грязевое относится к ультрапресной. Общая минерализация составляет 49,80 мг/л, рН – 6,8 (Минюк и др., 2022).

Материалом для исследования послужила колонка ГЗ-1 длиной 579 см, поднятая в центральной части озера.

Методом диатомового анализа было исследовано 46 проб. Техническую обработку образцов проводили по стандартной методике (Прошкина-Лавренко, 1974). Изучение водорослей, осуществляли с помощью светового микроскопа Аxioplan 40 при увеличении x1000. Графическое оформление распределения таксонов и экологических групп по разрезу, выделение диатомовых зон было сделано с помощью программ TILIA и TILIA Graph (<http://www.tiliait.com>) и кластерного анализа (CONISS) (Grimm, 1987). С целью обобщения изменений в диатомовых палеосообществах, подтверждения выделения зональных комплексов и палеосообществ использовался метод главных компонент (РСА).

Возрастная модель колонки ГЗ-1 была построена по данным радиоуглеродного датирования в лаборатории Ангстрема Уппсальского университета (Швеция) (Минюк и др., 2022).

Изученная диатомовая флора оз. Грязевое представлена 189 видами и внутривидовыми таксонами. Анализ изменений концентрации створок в осадках, процентного содержания таксонов и представителей экологических групп позволил выделить три локальные диатомовые зоны (ДзГз), соответствующие этапам эволюции экосистемы оз. Грязевое.

Зона ДзГз 1 (575–280 см, 24,844–19,564 тыс. л.н.) выделена несколько условно, она объединяет несколько прослоев, в которых было насчитано чуть более 100 створок. В группу доминантов входят индикаторы олиготрофных вод с низким содержанием питательных веществ: планктонная *Lindavia michiganiana* и бентосная *Ellerbeckia arenaria* f. *teres*, а также донная *Iconella hibernica*. Особенность комплекса зоны – низкое видовое богатство диатомей. Данный комплекс формировался в позднем плейстоцене во время холодной морской изотопной стадии (МИС) 2. Низкие концентрации створок или их полное отсутствие свидетельствует о постоянном ледовом покрове озера, препятствующем развитию фотосинтезирующих водорослей. Вместе с тем, прослой с диатомеями – возможная реакция диатомей на кратковременные потепления, например, ~23,4 тыс. л.н. во время интерстадиала GI 2.2. В это время зона оттаивания на мелководье расширялась, и здесь развивались бентосные виды, или такой обитатель неглубоких озер тундровой зоны, как *L. michiganiana*. Именно в МИС 2 начала формироваться котловина озера.

В осадках зоны ДзГз 2 (280–230 см, 12,689–11,116 тыс. л.н.) концентрация створок увеличивается. Доминирующую группу на разных уровнях интервала формировали: тихопланктонные *Staurosira venter*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *I. hibernica*, *Skabitschewskia oestrupii* и планктонные *Aulacoseira humilis*, *A. valida*. Непостоянство состава доминантов свидетельствует о формировании комплекса в переходный период, на границе плейстоцена и голоцена. Тихопланктонные таксоны, доминирующие на начальной стадии, скорее всего, развивались в самом верхнем прогреваемом слое воды, но ещё при низких температурах воздуха. Небольшой выбор местообитаний, низкие температуры не способствовали высокому разнообразию таксонов. Появление *Iconella* можно считать индикатором начала устойчивого потепления климата и связанного с ним последующего развития более сложной и разнообразной диатомовой флоры озера. Подобные тенденции в развитии диатомовых

флор отмечаются для последнего тысячелетия в озерах арктической Канады (Besonen et al., 2008). Примерно 11,3 тыс. л.т.н. продуктивность и разнообразие диатомей возрастают и появляются представители рода *Aulacoseira*, которые обитают в водах с повышенной турбулентностью, что может свидетельствовать о конвективном перемешивании вод озера. Тенденция потепления климата, увеличение контрастности сезонных температур спровоцировали рост разнообразия диатомей из разных экологических групп.

Интервал зоны ДзГз 3 (230–11 см, 11,116–н.в.) характеризуется осадками с самыми высокими концентрациями створок, но они не остаются постоянными по разрезу. Особенностью комплекса является высокое видовое разнообразие диатомей и постоянное присутствие в доминирующей группе таксонов со створками ≤ 20 мкм: *S. venter*, *Staurosirella pinnata*, *Staurosira construens* и др. группы *Fragilaria sensu lato* (Smol et al., 2005), а также разнообразие и относительное обилие представителей семейства *Symbellaceae*, всего 15 таксонов. Устойчивый рост обилия мелких представителей *Fragilaria sensu lato*, скорее всего, связан с повышением температур поверхностных вод. Аналогичная ситуация, зафиксированная в голоценовых осадках маленького субарктического озера Канады, была охарактеризована как общая реакция сообществ диатомовых водорослей на потепление (Podrifske, Gajewski, 2007). Вместе с тем, условия среды в период формирования комплекса зоны остаются непостоянными, что обусловило выделение четырёх подзон. Начавшееся ~10,7 тыс. л.т.н. повышение температур сменилось некоторым похолоданием (около 10,0 тыс. л.т.н.), которое, вероятно, увеличило продолжительность ледостава на озере, сократив вегетационный период планктонных и тихопланктонных диатомей. При этом происходило заболачивание окружающей озеро территории: с водами небольших водотоков в озеро поступали болотные формы диатомей. Присутствие *S. pinnata* в доминирующей группе 7,103–5,329 тыс. л.н. может свидетельствовать о невысоких температурах. Обратная зависимость обилия *S. venter* и *S. pinnata*, которая связывается с изменениями климата, зафиксированными в голоценовых осадках арктических озер (Podrifske, Gajewski, 2007), говорит в пользу более низких температур обитания *S. pinnata*. Примерно 4,4 тыс. л.н. отмечается резкое увеличение концентрации створок в осадках. Именно с этого времени в состав доминирующей группы на постоянной основе начинают входить бентосные таксоны с крупными створками. Их появление может рассматриваться, как реакция на потепление. Считается, что с повышением температуры очевиден переход от мелких таксонов к более крупным эпифитным, бентосным видам. Последующие частые, но кратковременные изменения в доминирующих группах могут свидетельствовать о нестабильных экологических условиях на фоне тенденции потепления. И, если температура следовала тренду на повышение, то рН воды, ее трофность менялись весьма хаотично. С 2,36 тыс. л.н. наблюдается становление современной диатомовой флоры. Значительные концентрации створок свидетельствуют о высокой продуктивности диатомей. Высокие оценки обилия таксонов, обитающих в гидрокарбонатных горных озерах, – *C. inaequalis*, *Symbopleura incerta* var. *spitsbergensis*, *N. vulpina*, *Eucocconeis flexella* (Barinova, Niyatbekov, 2019), свидетельствуют об установлении современного уровня минерализации вод. Появившаяся водная макрорастительность предоставила диатомеям новые местообитания, а повышенная трофность вод – возможность активного развития мезотрофных таксонов диатомей.

Таким образом, установленная реакция диатомей, прежде всего, на колебания климата в голоцене позволила выделить основные этапы трансформации экосистемы от неглубокого олиготрофного водоёма с постоянным ледоставом до относительно глубокого мезотрофного озера с разнообразной высокопродуктивной диатомовой флорой.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ ФНЦ Биоразнообразия (тема №121031500274-4) и ДВГИ ДВО РАН, а также за счёт средств Российского научного фонда (проект № 22-27-00444).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. Измайлова А.В. Озерные водные ресурсы азиатской части Российской Федерации // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 5. С. 453–462.
2. Кузьмин Г.В., Агапова Г.А., Сусекова Н.Г. Фитопланктон и химический состав воды озера Джека Лондона (Магаданская область) // Гидробиологический журнал. 1990. № 6. С. 21–27.
3. Минюк П.С., Пожидаева Д.К., Бурнатный С.С., Черепанова М.В., Курьина И.В., Назарова Л.Б. Комплексные исследования плейстоцен-голоценовых осадков озера Грязевое, Магаданская область // Проблемы Геокосмоса: материалы XIV школы-конференции (Санкт-Петербург. 3–7 октября 2022 г.). – СПб.: Скифия-принт, 2022. – С. 40–47.
4. Прошкина-Лавренко А.И. (ред.). Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
5. Харитонов В.Г. Об особенностях распределения диатомовых водорослей на севере Магаданской области // Ботанический журнал. 1981. Т.66, №5. С. 731–734.
6. Харитонов В.Г. Диатомовые водоросли оз. Джека Лондона и водоёмов его бассейна (Верхняя Колыма) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 3. С. 40–54.
7. Харитонов В.Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2010. – 189 с.
8. Черепанова М.В. Пресноводные диатомовые сообщества озёр Северо-Востока Сибири // Пространственная и временная изменчивость природной среды Северо-Востока Азии в четвертичный период. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 77–89.
9. Черепанова М.В., Авраменко А.С., Андерсон П.М., Ложкин А.В., Минюк П.С., Пушкарь В.С. Диатомовые водоросли оз. Эликчан (Северное Приохотье) и их значение для реконструкции развития экосистемы озера за последние 70 тыс. лет // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 1. С. 3–15.
10. Barinova S., Niyatbekov T. Comparative Analysis of Diatom Algae Diversity in the Pamir Protected Lakes, Tajikistan // International Journal of Advanced Research in Botany. 2019. V.5, №2. P. 1–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2455-4316.0502001>
11. Besonen M.R., Patridge W., Bradley R.S., Francus P., Stoner J.S., Abbott M.B. A record of climate over the last millennium based on varved lake sediments from the Canadian High Arctic // The Holocene. 2018. V. 18. P. 169–180. DOI: <https://doi.org/10.1177/095968360708>
12. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. 1987. V. 13, № 1. P. 13–35.
13. Podrifske B., Gajewski K. Diatom community response to multiple scales of Holocene climate variability in a small lake on Victoria Island, NWT, Canada // Quaternary Science Reviews. 2007. V. 26, №25-28. P. 3179–3196.
14. Smol J.P., Wolfe A.P., Birks H.H., Douglas M.S.V., Jones V.J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniades D., Brooks S.J., Fallu M.-A., Hughes M., Keatley B.E., Laing T.E., Michelutti N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A.M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., Weckström J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of Arctic lakes // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2005. V.102, №12. P. 4397–4402. DOI: 10.1073/pnas.0500245102