

УДК 561.26/.7: 582.26(282.256.125)

**4000 лет из жизни оз. Телецкого (Алтай, Россия) по данным
диатомового и хризофитового анализов**

**Last 4000-year period of Lake Teletskoye (Altai, Russia) existence
according to the data on diatom and chrysophyte analyses**

Митрофанова Е. Ю., Сутченкова О. С.

Mitrofanova E. Yu., Sutchenkova O. S.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. E-mail: emit@iwep.ru

Institute for Water and Environmental Problems SB RAN, Barnaul

Реферат. В работе представлены результаты исследования диатомовых и золотистых водорослей в 1940-миллиметровом керне донных отложений оз. Телецкого (Алтай, Россия) с подводного хребта Софьи Лепневой. По данным диатомового анализа реконструирована величина рН за последние 4000 лет, которая изменялась в пределах 7,48–7,98 при средней величине $7,61 \pm 0,004$, что соответствует слабощелочной среде; по соотношению планктонных и донных форм косвенно оценено изменение уровня воды в озере. Выявлено, что при минимуме развития диатомей доля стоматоцист золотистых водорослей возрастала до 37,2 %, а при максимуме – снижалась до 0,02 % от общего количества створок диатомовых водорослей.

Summary. The study results of diatom and chrysophyte algae found in the 1940 mm sediment core taken from the underwater ridge Sofia Lepneva in Lake Teletskoye (Altai, Russia) are presented. The pH value was reconstructed for the last 4000 years of the lake's existence due to the diatom analysis; it varied within 7.48–7.98 with an average of 7.61 ± 0.004 that corresponded to the slightly alkaline environment. The change in the lake's water level was indirectly estimated based on the ratio of planktonic and bottom forms of diatoms. It was revealed that a share of chrysophyte algae stomatocysts increased up to 37.2 % at the minimum diatom development, and decreased up to 0.02 % at the maximum one.

Анализ состава и экологической характеристики водорослей, захороненных в донных отложениях, позволяет охарактеризовать условия формирования того или иного типа осадков и трофический статус водоема в прошлом (Дорофеюк, 2008). Водоросли как организмы, связанные обменом веществ с водной средой, быстро и остро реагируют на изменение ее свойств. Состав и обилие представителей той или иной систематической группы водорослей в донных осадках характеризует не только условия среды данного водоема, но и в значительной степени зависит от причин, обусловивших вегетирование именно этих видов в водоеме. Такие индикаторные свойства водорослей широко используются при оценке изменений условий среды в водоёмах как в настоящее время, так и в прошедшие геологические периоды. Наиболее подходящим объектом для подобных исследований являются диатомовые водоросли (Bacillariophyta), которые в континентальных водоемах круглогодично доминируют в фитопланктоне озер, являются первичным продуцентом органического вещества и, ввиду наличия кремниевого панциря, хорошо сохраняются в различных палеоархивах, в том числе и в донных отложениях. Диатомеи образуют характерные экологические комплексы, приуроченные к разным биотопам водоемов и адаптированные к различным экологическим факторам, а именно – к разной степени солености, кислотности вод, температуре, освещенности и т. п.

Кроме диатомей, в донных отложениях можно обнаружить и цисты золотистых водорослей (Chrysophyta), являющихся характерным компонентом планктона глубоких олиготрофных водоемов, где они могут также вегетировать на протяжении всего года. Одной из особенностей цикла развития данных водорослей является образование покоящихся стадий – стоматоцист (далее по тексту «цисты»), которые могут быть самой разнообразной формы – эллипсоидной, яйцевидной, цилиндрической или сферической, с целлюлозной оболочкой, пропитанной оксидом кремния. Стенки цист толстые, гладкие или покрытые различными образованиями в виде бородавочек, шипов, гребней, мор-

цин, крыловидных образований или экваториальных ободков (Водоросли..., 1989). В то же время кремнистые чешуйки, покрывающие поверхность вегетативных клеток золотистых водорослей, ввиду их малых размеров и хрупкости, в донных отложениях практически не встречаются. Для объективной оценки «индикаторного лица» альгофлоры необходимо составить процентное соотношение групп индикаторных организмов в отношении различных экологических факторов (Барина и др., 2006).

В работе представлены результаты исследования 1940-миллиметрового керна донных отложений оз. Телецкого с подводного хребта Софьи Лепневой. Озеро находится в горах Алтая на юге Западной Сибири на высоте 434 м над ур. м. (максимальная глубина 323 м, средняя – 181 м), расположено в узкой горной долине (длина 78,6 км, средняя ширина 2,89 км) с объемом 41,1 км³ и площадью водного зеркала 227,3 км² (Selegei et al., 2001). На стыке широтной и меридиональной частей озера со дна возвышается подводный хребет с вершиной, расположенной на глубине 91 м. Скорость осадконакопления в данном районе дна озера составляет 0,3 мм/год (Калугин и др., 2009), с учетом влажности осадка – 0,45 мм/год. КERN, разрезанный послойно с интервалом в 5 мм, вскрывает осадки возрастом около 4000 лет, т.е. каждый слой отражает примерно 11 лет жизни озера.

В исследованном керне донных отложений выявлено 194 вида (212 видов, разновидностей и форм) диатомовых водорослей. Впервые для донных отложений оз. Телецкого отмечено 64 вида (или 66 видов, разновидностей и форм) диатомей. Четверть видов, или 25,2 %, были встречены единично, только в одном каком-то слое. Анализ состава танатоценозов показал, что преобладают обитатели дна и обрастаний (70 % от видов с известной характеристикой), широко распространенные (43 %) по географической приуроченности, индифферентные по отношению к солености (64 %), бета-мезосапробионтные виды (37 %) среди индикаторов органического загрязнения. Видов-индикаторов рН среды выявлено 161 вид (или 83 % от общего числа), преобладают алкалофильные виды (34 %), индифференты (30 %), менее многочисленны ацидофилы (10 %) и алкалобионты (9 %). Для реконструкции активной реакции воды Дж. Ренбергом и Т. Хеллбергом (Renberg, Hellberg, 1982) была предложена формула, по которой вычисляется теоретическая величина рН для каждого слоя донных отложений. Данный метод был разработан для озер Швеции, нами было применено модифицированное уравнение, полученное для одного из озер Кольского Севера (Моисеенко и др., 1997), сходное с оз. Телецким по уровню рН (слабощелочная среда). Для этого было подсчитано процентное соотношение видов-индикаторов рН в общем количестве створок. В результате была получена кривая изменения рН за последние 4000 лет жизни озера (рис. 1).

Реконструированные значения рН для исследованного керна донных отложений оз. Телецкого изменялись в пределах 7,48–7,98 при средней величине $7,61 \pm 0,004$. Линия тренда показала незначительное увеличение рН от верхних слоев керна к нижним, но все значения находились в пределах слабощелочной зоны ($7 < \text{pH} < 8,5$). При этом в керне донных отложений можно выделить три отрезка. На интервале керна 0–1280 мм рН изменялась в пределах 7,48–7,69 при среднем значении $7,58 \pm 0,002$,

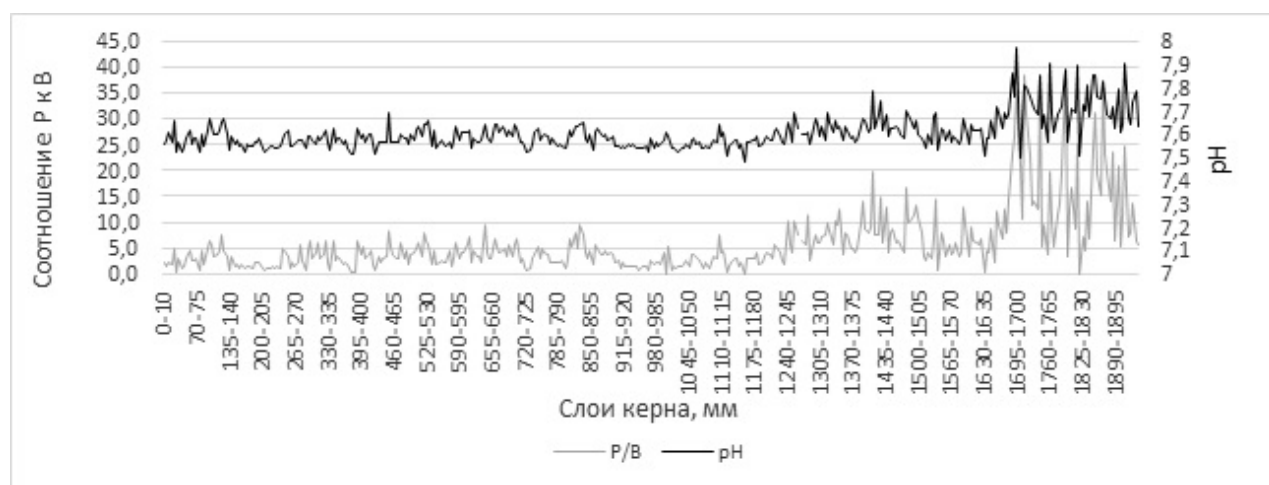


Рис. 1. Кривые соотношения планктонных (P) и бентосных (B) форм диатомовых водорослей и реконструированной рН в донных отложениях оз. Телецкого с подводного хребта Софьи Лепневой.

1285–1685 мм – $7,51-7,86$ и $7,62 \pm 0,45$ и на 1690–1940 мм – $7,50-7,98$ и $7,72 \pm 0,02$, соответственно, т.е. во временном интервале от 2006 г. н.э. до 766 гг. до н.э. рН изменялась всего на 0,21, от 777 до 1690 гг. до н.э. – на 0,35, а в последнем временном отрезке, от 1701 до 2240 гг. до н.э. – на 0,48, что может свидетельствовать в целом о незначительном изменении условий среды по рН фактору. Только в более глубоких слоях керна отмечены наибольшие изменения реконструированной величины рН в сторону увеличения, т.е. условия в озере были еще более щелочными, хотя и не выходили из слабощелочной зоны. Для верификации реконструированные результаты по рН были сопоставлены с инструментальными данными по СФКМ Яйлю на оз. Телецком за период с 1985 по 2003 гг. Диапазон изменения рН за этот период оказался в тех же пределах и также соответствовал слабощелочной среде – от 7,04 до 7,78. Среднее значение рН для временного периода 1985–2003 гг. составило $7,44 \pm 0,06$ и было очень

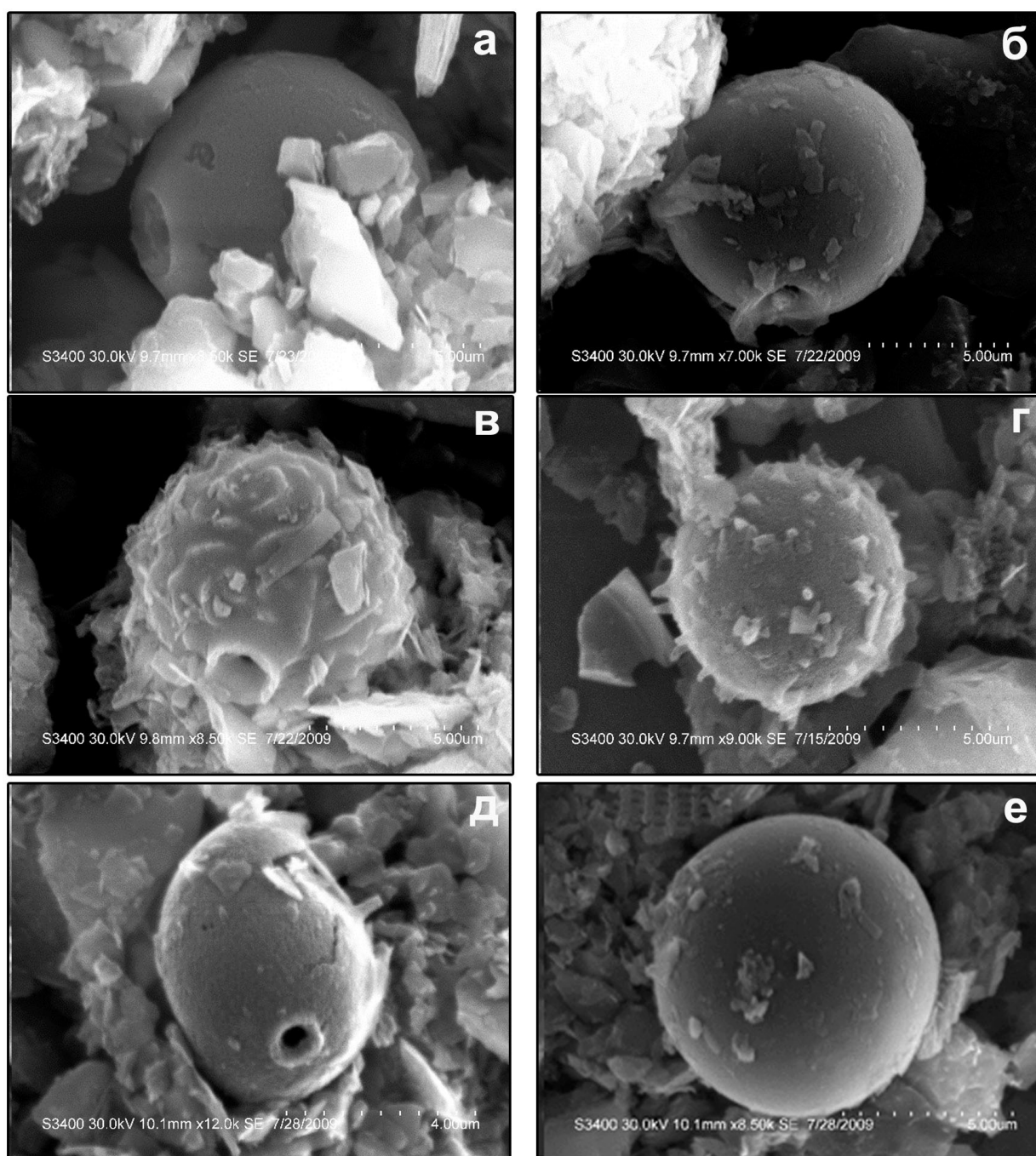


Рис. 2. Стоматоцисты золотистых водорослей в донных отложениях оз. Телецкого с подводного хребта Софы Лепневой: а-г – слой 10–15 мм, д-е – слой 345–350 мм.

близко к реконструированным значениям, особенно для верхнего отрезка керна ($7,58 \pm 0,002$), что подтверждает правильность реконструкции значений рН.

Этой же тенденции подвержено изменение соотношения количества планктонных и бентосных форм среди диатомей, что может косвенно свидетельствовать об изменении уровня воды в озере. От поверхностных слоев керна к глубинным (см. рис. 1) происходит постепенное увеличение количества створок планктонных форм относительно бентосных. Так, на отрезке керна 0–1240 мм это соотношение изменялось от 0,1 до 9,5 при средней величине $3,2 \pm 0,1$, на отрезке 1240–1740 – $0,2–38,5$ и $9,1 \pm 0,7$, на отрезке 1740–1940 – $0,1–38,8$ и $14,7 \pm 1,5$, соответственно. Такое увеличение количества планктонных форм в общем количестве створок диатомовых водорослей характеризует уровень озера как более высокий около 4000 лет назад по сравнению с современным. Известно, что для развития истинно планктонных видов требуется обширная пелагиаль. Это можно наблюдать в водоеме при повышении уровня воды. При снижении уровня, напротив, повышается площадь литорали в озере и большее развитие среди диатомей получают виды бентоса и обрастаний. Подобное было отмечено, например, для озера в оазисе Бангера (Восточная Антарктика), когда повышение доли пелагических морских видов происходило при подъеме уровня воды в водоеме (Полещук, Веркулич, 2014).

В исследованных пробах донных отложений с помощью СЭМ Hitachi S-3600N было выявлено 8 морфотипов цист (рис. 2), причем все они были отмечены ранее в планктоне озера. Количество цист колебалось от 0,08 (слой 1895–1900 мм) до 2,72 (слой 275–280 мм) млн ств./г, среднее по керну составило $0,79 \pm 0,05$ млн ств./г при соответствующих характеристиках диатомей: 0,9 (135–140 мм)–54,7 (100–105 мм) млн ств./г, среднее по керну $20,5 \pm 0,9$ млн ств./г. Значимой зависимости количества цист от количества диатомовых водорослей в разных слоях донных отложениях озера не выявлено (коэф. корр. 0,48), но отмечено, что при минимуме развития диатомей доля цист возрастала до 37,2 %, а при максимуме – снижалась до 0,02 % от общего количества створок диатомовых водорослей.

В целом, реконструированная кривая значений рН в донных отложениях оз. Телецкого с подвального хребта Софьи Лепневой может свидетельствовать о постоянстве условий среды в озере в последние 4000 лет с несущественными изменениями, которые не выходили за рамки слабощелочной зоны. Незначительные колебания количества цист золотистых водорослей в разных слоях донных отложений озера также может характеризовать условия по рН как достаточно стабильные. Увеличение соотношения планктонных и донных форм диатомей в более глубоких слоях изученного керна может указывать на подъем уровня воды в озере в более ранние периоды и снижение его к настоящему периоду.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 0383-2016-005 «Климатические и экологические изменения и региональные особенности их проявления на территории Сибири по данным палеоархивов и атмосферных осадков».

ЛИТЕРАТУРА

- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
- Водоросли. Справочник / Под ред. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Дорофеюк Н. И. Реконструкция природных условий Внутренней Азии в позднеледниковье и голоцене (по материалам диатомового и палинологического анализов озерных осадков Монголии). Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук. – М., 2008. – 49 с.
- Калугин И. А., Дарьин А. В., Бабич В. В. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкого // Доклады Академии наук, 2009. – Т. 426, № 4. – С. 520–522.
- Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Каган Л. Я. Горные озера как индикаторы загрязнения воздуха // Водные ресурсы, 1997. – Т. 24, № 5. – С. 600–608.
- Полещук К. В., Веркулич С. Р. Реконструкция изменений уровня моря в районе оазиса Бангера (Восточная Антарктида) в голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики, 2014. – № 2 (100). – С. 15–24.
- Renberg J., Hellberg T. The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments // AMBIO, 1982. – Vol. 11. – P. 30–33.
- Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Annalen-Koninklijk Museum voor Midden-Afrika. Geologische wetenschappen, 2001. – Vol. 105. – P. 239–262.