

УДК 56.01/08+561.261

О.С. Сутченкова  
Е.Ю. Митрофанова

O.S. Sutchenkova  
E.Yu. Mitrofanova

## РЕКОНСТРУКЦИЯ УРОВНЯ pH ЗА ПОСЛЕДНИЕ 2000 ЛЕТ ПО СОСТАВУ И КОЛИЧЕСТВУ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОЕ (АЛТАЙ, РОССИЯ)

### THE pH LEVEL RECONSTRUCTION FOR THE LAST 2000 YEARS BASED ON THE DIATOM ANALYSIS OF SEDIMENTS IN LAKE TELETSKOYE (ALTAI, RUSSIA)

В работе предпринята попытка реконструкции уровня pH в оз. Телецкое по данным диатомового анализа в керне донных отложений с подводного хребта Софьи Лепневой. Выделены группы диатомей по отношению к pH, определено их соотношение в общем количестве створок в каждом слое донных отложений на отрезке керна 0–1000 мм, вскрывающего осадки возрастом около двух тыс. лет. Рассчитанное значение pH варьировало в пределах 7,51–7,69, что соответствует слабощелочной среде в водоеме.

Свойство озер накапливать в течение длительного геологического периода осадочные толщи, содержащие информацию об эволюции флоры, используется в палеоэкологии для изучения природных тенденций развития озерных экосистем и климата территорий во времени и пространстве. Диатомовый анализ озерных осадков основан на хорошей сохранности в них кремневых створок диатомовых водорослей. Диатомеи образуют характерные экологические комплексы, приуроченные к разным биотопам водоемов и адаптированные к различным факторам среды (Дорофеюк, 2008). По составу и количеству диатомей, соотношению их основных групп, наличию видов-индикаторов можно реконструировать природные условия в предшествующие временные отрезки, а именно температурный режим, выделить периоды засухливости или повышенной увлажненности, оценить колебания уровня воды в водоеме, а также содержание водородного иона, определяющего кислотность или щелочность воды (Chipman et al., 2009; Wolin, Stone, 2010). Изучению закисления вод отводится особое внимание ввиду все возрастающей ацидификации водоемов в силу естественных и антропогенных причин (Renberg, Hellberg, 1982; Моисеенко и др., 1997). По системе Ф. Хустедта виды водорослей, чувствительные к изменению pH воды, объединены в 11 групп от алкалибионтов, обитающих в водах с pH = 8 и более, до ацидобионтов, живущих в кислых водах с pH = 5 и менее (Баринаева и др., 2006). Цель данной работы – выделение в донных отложениях оз. Телецкое видов-индикаторов из диатомовых водорослей для реконструкции уровня pH в водоеме в последние 2000 лет.

Донные отложения в оз. Телецкое, глубококом (максимальная глубина 323 м) водоеме тектонического происхождения на юге Западной Сибири, имеют большую мощность и могут быть использованы при создании региональных высокоразрешающих реконструкций природной среды. В настоящее время технические возможности гравитационных пробоотборников позволяют отбирать на озере колонки донных отложений длиной около двух метров. В 2006 г. был отобран керн донных отложений длиной 1940 мм с подводного хребта Софьи Лепневой. Данная подводная возвышенность расположена на стыке двух морфометрически разнородных частей озера: южной меридиональной глубоководной (длиной около 48 км) и северной широтной мелководной (30 км). Вершина подводного хребта возвышается над дном озера до 211 м (Селегей В.В., Селегей Т.С., 1978). Скорость осадконакопления на данном участке дна озера составляет 0,3 мм/год (Калугин и др., 2009), или 45 мм/год с учетом влажности осадка, поэтому исследуемый керн вскрывает осадки возрастом до 4 тыс. лет. В основу данной работы положены данные диатомового анализа верхних 1000 мм керна. Пробы подготавливали и обрабатывали стандартными методами (Диатомовые водоросли..., 1974; Водоросли, 1989). Идентификацию и систематизацию диатомей проводили с использованием современных определителей и сводок. Среди диатомовых выделены четыре группы видов-индикаторов pH: alkf – алкалифилы, предпочитающие среду с pH >7, circ (ind) – циркумнейтралы (индифференты), (pH = 7), acf – ацидофилы (pH < 7), acb – ацидобионты, (pH < 5,5). Подсчитано их процентное содержание в общем количестве створок диатомей, что необходимо для подсчета теоретической pH в каждом исследованном слое донных отложений и получения общей картины изменения pH вдоль по керну. Теоретическое значение pH вычис-

ляли на основе уравнения линейной регрессии по индексу В, разработанному для озер Швеции (Renberg, Hellberg, 1982):  $V = (\% \text{ circ} + 5\% \text{ acf} + 40\% \text{ acb}) / (\% \text{ circ} + 3,5\% \text{ alkf})$ . Нами было использовано уравнение, полученное для одного из озер Кольского Севера (Моисеенко, 1999), сходное с оз. Телецкое по уровню рН:  $\text{pH} = 7,5 - 0,85 \log V$ .

В донных отложениях оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой на всем исследованном интервале керна отмечено преобладание алкалифильных видов – от 50,7 % в слое 375–380 мм до 95,2 % в слое 450–455 мм (рис. 1) за счет развития абсолютного доминанта донных отложений – *Aulacoseira subarctica* (O.Müll.) Naw., предпочитающей водную среду со значениями рН = 7,3. Несмотря на прямую зависимость общего количества створок диатомей от численности абсолютного доминанта (в периоды меньшего развития планктонной *A. subarctica* снижается и общее количество диатомей), рН водной среды озера значительно влияет на развитие представителей группы алкалофилов (коэффициент корреляции 0,88) и в меньшей степени влияет на обилие диатомовых водорослей (коэффициент корреляции 0,60). Среди субдоминантов к алкалифильным видам относятся *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. (рН = 5,8–8,4), *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Comp. (рН = 5,0–9,5), *Gomphonema olivaceum* var. *olivaceum* (Hom.) Bréb. (рН = 7,5–8,0), *Nitzschia fonticola* Grun. (рН = 6,0–9,0).

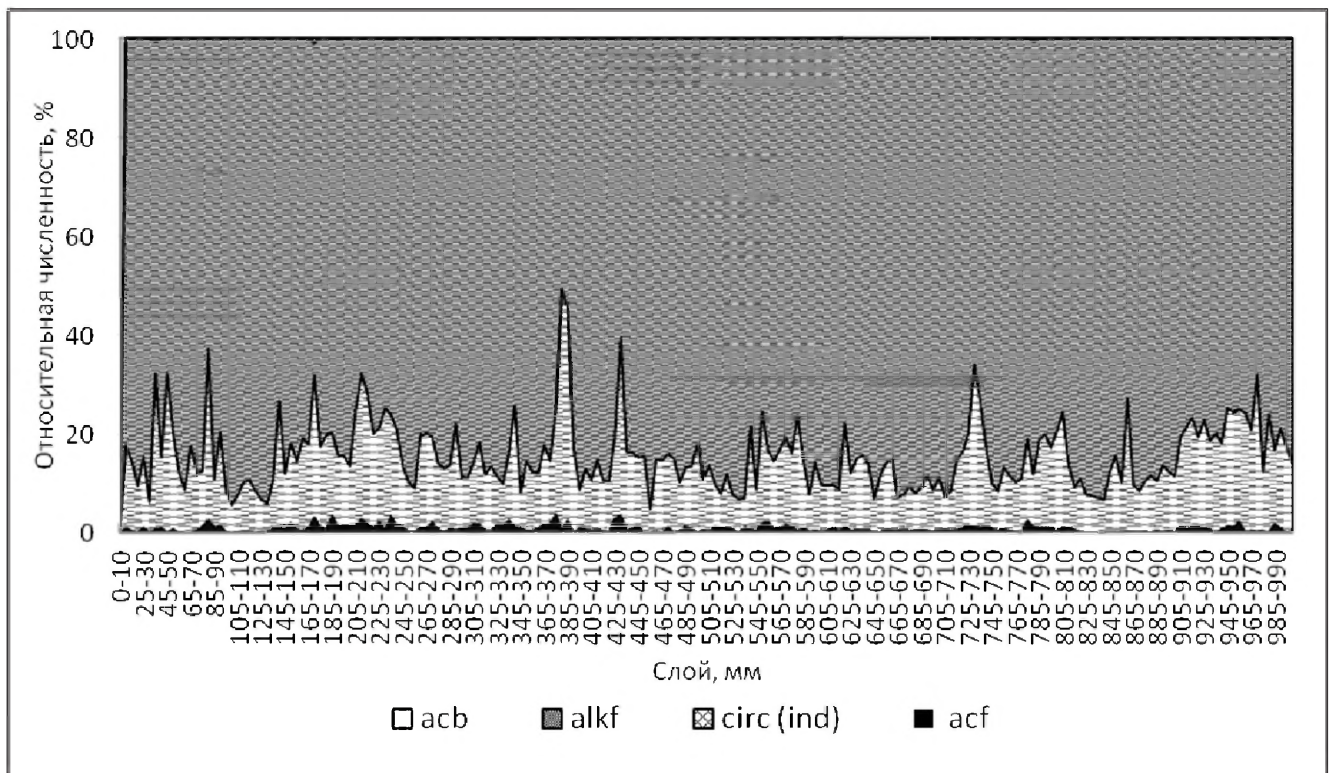


Рис. 1. Относительная численность групп водорослей по отношению к рН в общем количестве их створок в керне донных отложений оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой

Циркумнейтральные (или индифферентные) виды составляют от 4,8 до 50,7 % в общем количестве створок диатомей. Основными представителями данной группы являются *Cyclotella bodanica* (Grun.) Hakan., *Cymbella sinuata* Greg., *Encyonema ventricosum* (Kütz.) Grun., *Gomphonema ventricosum* Greg., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Smith, виды родов *Diatoma* Vogt и *Pinnularia* Ehr. При этом наблюдается обратная зависимость развития индифферентов от такового алкалифильных видов: наибольшая доля индифферентов отмечена в слое с наименьшим количеством алкалофилов (слой 375–380 мм), а минимальная доля индифферентов приурочена к максимуму развития алкалофилов (450–455 мм). Коэффициент корреляции от процентного содержания этих двух групп особенно высок – 0,99.

Развитие видов, предпочитающих рН меньше 7 (ацидофилы) и рН меньше 5,5 (ацидобионты), увеличивается в донных диатомоценозах при относительном снижении показателей рН среды. Коэффициент корреляции процентного содержания суммы этих групп от рН равен 0,45. Эти группы составляют виды, отмеченные в керне не повсеместно – *Cyclotella antiqua* (Jouse) Gles., *Aulacoseira distans* (Ehr.) Sim. (рН = 6,9), *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. (рН = 5,7), *Frustulia rhomboides* (Ehr.) De Toni (рН = 5,5), *Neidium bisulca-*

*tum* (Lagerh.) Cl. (рН = 5,2) и *Gomphonema parvulum* Kütz. (рН = 4,5). На относительно низкую зависимость ацидофилов и ацидобинтов от рН может влиять периодическое появление этих видов в донных отложениях и их незначительное процентное содержание в общем количестве диатомей в разных слоях зерна донных отложений.

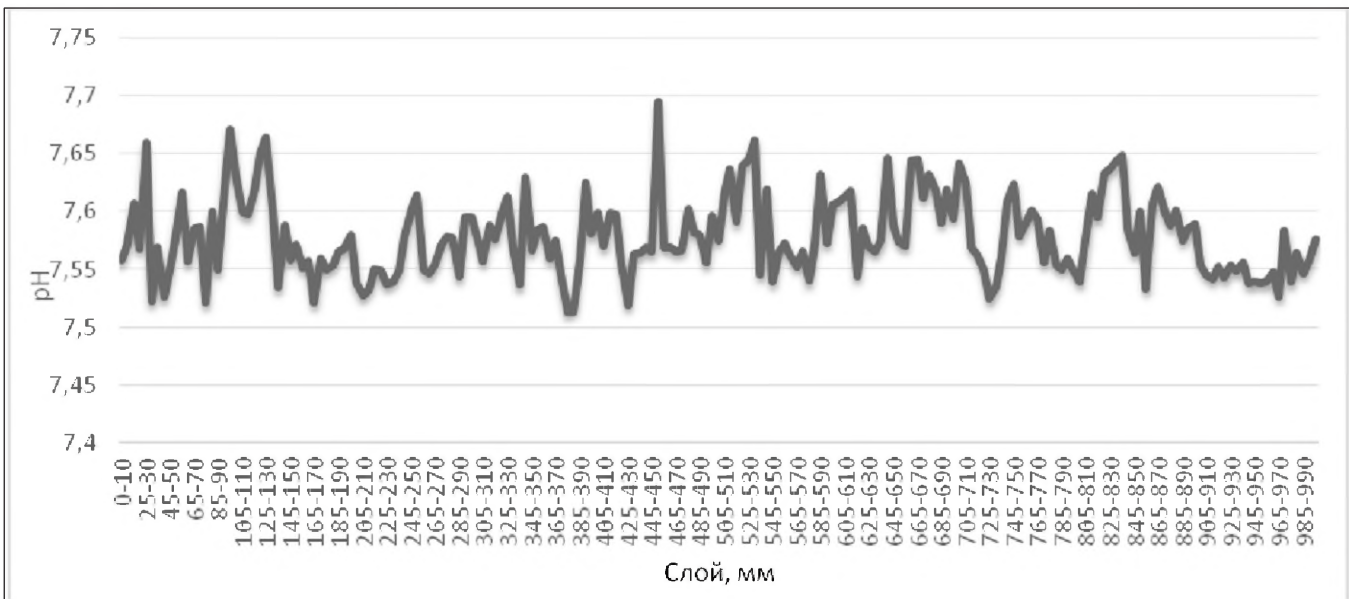


Рис. 2. Реконструированное значение рН, рассчитанное для исследованного интервала зерна донных отложений оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой

Реконструированное значение рН для исследованного отрезка зерна донных отложений оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой варьировало в пределах 7,51–7,69 (рис. 2) при среднем значении  $7,58 \pm 0,003$ . Наименьшее значение рН отмечено в слое 380–385 мм, наибольшее – 450–455 мм. Сравнивая рассчитанные значения рН и современные данные по этому показателю, полученные при вертикальном зондировании водной толщи оз. Телецкое в разные годы с помощью зондов, следует отметить, что эти значения очень близки. Так, в районе п. Яйло 26 сентября 1994 г. при замерах до дна (общая глубина 207 м) среднее значение рН составило  $7,77 \pm 0,002$ , в придонном слое оно было немного выше – 7,74, у поверхности ниже – 7,65. При зондировании верхнего 25-метрового слоя на этой же станции 26 августа 2013 г. среднее значение рН было  $7,35 \pm 0,04$ . В поверхностных слоях водной толщи идут интенсивные процессы окисления органики, что и вызывает некоторое уменьшение значения рН. Этому способствует и достаточное количество растворенного в воде кислорода, содержание которого от поверхности до самых глубинных горизонтов в оз. Телецкое высокое. Так, в августе 2006 г. в пелагиали озера средняя для столба воды концентрация кислорода составила  $10,88 \pm 0,38$  мг/л при насыщении  $98,3 \pm 0,9$  %.

В целом проведенное исследование показало, что резких и кардинальных изменений уровня рН в озере за период в 2000 лет не выявлено. Содержание водородного иона в воде было и в настоящее время остается в пределах, соответствующих слабощелочной среде. Незначительные изменения значений рН вследствие появления ацидофилов в составе диатомоценозов могут свидетельствовать скорее всего о привносе этих водорослей с заболоченной территории водосборного бассейна озера при увеличении стока в озеро.

Авторы признательны А.В. Дьяченко (ИВЭП СО РАН) за архивные и оригинальные данные по рН в воде оз. Телецкое. Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 92 и партнерского проекта фундаментальных исследований СО РАН № 34.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель Авив, 2006. – 498 с.  
 Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.  
 Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.

**Дорофеев Н.И.** Реконструкция природных условий Внутренней Азии в позднеледниковье и голоцене (по материалам диатомового и палинологического анализозерных осадков Монголии): Автореф. дис... 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. Телецкое // Докл. Академии Наук, 2009. – Т. 426, № 4. – С. 520–522.

**Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Казан Л.Я.** Горные озера как индикаторы загрязнения воздуха // Водные ресурсы, 1999. – Т. 24, № 5. – С. 600–608.

**Селегей В.В., Селегей Т.С.** Телецкое озеро. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.

**Chipman M.L., Clarke G.H., Clegg B.F., Gregory-Eaves I., Hu F.S.** A 2000 year record of climate change at Ongoke Lake, southwest Alaska // J. Paleolimnol, 2009. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 57–75.

**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. 300–303.

**Wolin J.A., Stone J.R.** Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. In: The diatoms applications to the environmental and earth Sciences, E.F. Stoermer and J.P. Smol (eds.). – Cambridge University Press, 2010. – P. 174–185.

#### SUMMARY

The attempt of the pH level reconstruction in Lake Teletskoye based on the diatom analysis in the core of bottom sediments from the Sophia Lepneva underwater ridge was made. The groups of diatoms related to pH were revealed, and their ratio in the total number of frustules in a 0–1000 mm core was determined. The age of the studied sediments was about two thousand years. The calculated pH varied as 7.51–7.69 that was indicative of a slightly alkaline environment in the lake.