

УДК 561.26+574

О.С. Сутченкова
Е.Ю. Митрофанова

O.S. Sutchenkova
E.Yu. Mitrofanova

**ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДОВ *FRAGILARIA* И *SYNEDRA* КАК ВОЗМОЖНЫЕ
ПАЛЕОИНДИКАТОРЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГЛУБОКОГО ОЗЕРА**

**REPRESENTATIVES OF GENERA *FRAGILARIA* AND *SYNEDRA* AS PROBABLE
PALEOINDICATORS IN BOTTOM SEDIMENTS OF DEEP LAKE**

В работе приведен анализ видов из родов *Fragilaria* Lyngb. и *Synedra* Ehr., выявленных в верхних 1000 мм 1940-миллиметрового керна донных отложений оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой, как возможных палеоиндикаторов изменения климата в регионе. Выявлено, что по экологической характеристике виды, в основном, являются широко распространенными в водоемах умеренной и арктической зон и бентосными формами. Использование их в качестве палеоиндикаторов в глубоком проточном водоеме, как это было сделано для небольших по площади и неглубоких альпийских озер Европы, малоинформативно.

ВВЕДЕНИЕ

В донных отложениях сохраняется информация о составе и соотношении видов диатомовых водорослей, развивавшихся в разное время в альгоценозах водоема. Индикаторами процессов, происходивших в озере и на территории его водосборного бассейна, могут быть водоросли с различными экологическими характеристиками. Так, например, увеличение или снижение количества видов-холодолюбивых может свидетельствовать о понижении или повышении температуры воды и, соответственно, об изменении климата в целом. К таким видам, встречающимся в альпийских, арктических и субарктических озерах и в подобных водоемах, в прошлом сопоставимых по окружающим условиям, относятся представители диатомовых из родов *Fragilaria* Lyngb. и *Synedra* Ehr. Поэтому оценка индикационного потенциала семейства Fragilariaceae может представлять практический интерес при палеоклиматических реконструкциях в горных озерах. Как отмечают, представители семейства Fragilariaceae характеризуются высокой изменчивостью формы, размера и микроструктуры. Виды с мелкоразмерными панцирями могут выступать индикаторами адаптации клеток к низкой температуре (Schmidt et al., 2004). Обитают представители семейства Fragilariaceae в различных водоемах и водотоках, в том числе и в глубоких озерах. Такие водоемы особенно предпочтительны для палеоэкологических исследований. Благодаря большому объему, наличию разнообразных биотопов и разнообразию обитающих в них видов диатомовых водорослей глубокие озера способны накапливать информацию о процессах, происходивших в результате естественных и антропогенных изменений окружающей среды. Озеро Телецкое (Русский Алтай) – именно такой водоем, который интересен для создания региональных высокоразрешающих реконструкций природной среды. Территория водосбора озера не имеет значимого антропогенного загрязнения, которое могло бы исказить климатические отклики как литолого-геохимических (Дарьин, Калугин, 2012), так и других палеоиндикаторов. Цель работы – оценка возможности применения видов родов *Fragilaria* и *Synedra* для палеоиндикации в глубоком проточном озере, расположенном в горах Алтая.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Керн донных отложений длиной 1940 мм был отобран грунтовой трубкой в 2006 г. в оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой, расположенного на стыке широтной и меридиональной частей водоема с вершиной на глубине 91 м. Скорость осадконакопления на подводном хребте составляет 0,30 мм/год (Калугин и др., 2009), или 0,45 мм/год с учетом влажности осадка (данные И.А. Калугина). Поэтому исследуемый керн вскрывает осадки возрастом до 4 тыс. лет. В основу данной работы положены данные диатомового анализа верхних 1000 мм донных отложений (199 проб), соответствующих последним 2222 годам. Слои с 70–75 по 245–250 мм относятся к Малому ледниковому периоду, который длился с 1450 по 1850 гг. (Скабичевская, 2000). Приготовление постоянных препаратов диатомей проводили стандартным методом (Диатомовые..., 1974; Водоросли, 1989), исследовали их с помощью светового Nikon H550L и сканирующего электронного Hitachi S-3400 N микроскопов, пересчет количества створок диатомей проводили на 1 грамм

осадка. Для идентификации диатомовых водорослей использовали определители (Забелина и др., 1951) и Атласы (Хурсевич, 1989; Hartley, 1996). Проведен видовой анализ родов *Fragilaria* и *Synedra*, ранжирование видов по встречаемости (относительное число проб, в которых отмечен вид), приведена экологическая характеристика видов (по С.С. Бариновой (2006), Н.А. Скабичевской (1984) и М.М. Забелиной (1951)) и оценено количество створок.

Таблица

Список видов родов *Fragilaria* и *Synedra*, обнаруженных в донных отложениях оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой

Вид	Встречаемость, %	Экология по:		
		Скабичевская, 1984	Баринова, 2006	Забелина и др., 1951
<i>Fragilaria</i> ssp.	4,5			
<i>F. capucina</i> Desm. var. <i>capucina</i>	20,6		к, Р	ШР, олигогалоб
<i>F. capucina</i> var. <i>capitellata</i> (Grun.) Lange-Bertalot in Krammer et Lange-Bertalot	1,0		В	ШР
<i>F. capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabenh.) Rabenh.	1,0		к, Р-В	ШР
<i>F. capucina</i> var. <i>vaucheria</i> (Kütz.) Lange-Bertalot	4,5	ШР	б, В	ШР
<i>F. construens</i> (Ehr.) Grun. var. <i>construens</i>	45,7	ШР	к, Р-В	ШР, олигосапроб
<i>F. crotonensis</i> Kitt.	1,0		к, Р	ШР в пресных и слегка солоноватых водах, олигосапроб
<i>F. leptostauron</i> (Ehr.) Hust. var. <i>leptostauron</i>	31,2		В	ШР
<i>F. pinnata</i> Ehr.	97,0	ШР	б, Р-В	Очень ШР в пресных и слегка солоноватых водах (легкий галлофил, олигосапроб)
<i>F. virescens</i> Ralfs var. <i>virescens</i>	1,0		а-а, Р-В	ШР преимущественно на севере, олигогалоб
<i>Fragilaria arcus</i> (Ehr.) Cl.	67,8	ОСАИ	а-а, В	ШР в холодных водах умеренной зоны и Арктики, стенотермный
<i>Fragilaria arcus</i> var. <i>recta</i> Cl.	4,0		В	В горных реках Памира, оз. Байкал, р. Приморского края
<i>Synedra</i> ssp.	4,0			
<i>S. acus</i> Kütz.	2,0		к, Р	ШР, кальцефильный, олигосапроб
<i>S. amphicephala</i> var. <i>austriaca</i> Grun. in V.H.	1,0		к, В	Редкий, разные типы водоемов
<i>S. capitata</i> Ehr.	5,0		к, В	ШР
<i>S. goulardii</i> Bréb. in Cl. et Grun. var. <i>goulardii</i>	5,5		Н	Редкий, горные водоемы
<i>S. goulardii</i> var. <i>telezkoënsis</i> Poretzky in Zabelina et al.	2,0		б, N	Редкий, горные водоемы
<i>S. pulchella</i> (Ralfs) Kütz.	31,7		к, Е	Мезогалоб, шр в пресных и солоноватых водах
<i>S. rumpens</i> Kütz. var. <i>rumpens</i>	52,8		к, В	ШР, в северных широтах реже
<i>S. rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i> Grun. in V.H.	3,0		к, Р-В	ШР, в северных широтах реже
<i>S. rumpens</i> var. <i>meneghiniana</i> Grun. in V.H.	0,5		к, Р, Е	ШР, в северных широтах реже
<i>S. ulna</i> (Nitzsch) Ehr. var. <i>ulna</i>	98,5	ОШИ, ШР	к, Р-В	ШР, мезосапроб
<i>S. ulna</i> var. <i>danica</i> (Kütz.) Grun. in V.H.	8,0	ШР	к, Р-В	ШР, мезосапроб
<i>S. ulna</i> var. <i>contracta</i> Östr.	0,5		Н	ШР, мезосапроб
<i>S. ulna</i> var. <i>impressa</i> Hust.	0,5		Р-В	ШР, мезосапроб
<i>S. vaucheriae</i> Kütz. var. <i>vaucheriae</i>	88,4	ШР	к, Р	ШР, мезосапроб

Примечание: а-а – аркто-альпийский, б – бореальный, к – космополит; ОСАИ – виды обрастания болотные, северные, горные, северо-альпийские индиференты, ОШИ – виды обрастания болотные, широко распространенные индиференты, ШР – виды широкого распространения; Р – планктонный, Р-В – планктонно-бентосный, В – бентосный, Е – эпифит, N – с невыясненной экологией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании верхних 1000 мм керн донных отложений с подводного хребта Софьи Лепневой

выявлено 174 вида (226 видов и разновидностей) диатомовых водорослей. В родах *Fragilaria* и *Synedra* отмечено по 7 и 8 видов (11 и 14 видов и разновидностей, соответственно). Это в основном виды, обитающие в бентосе и перифитоне (9), есть виды, которые могут развиваться как в планктоне, так и в бентосе (8), еще меньше истинных представителей планктона (5) и с невыясненной экологией (3) (табл.). К видам с высокой встречаемостью относятся *Fragilaria pinnata* (97,0 %), *F. arcus* (67,8), *Synedra rumpens* (52,8), *S. ulna* (98,5) и *S. vaucheria* (88,4 %), со средней встречаемостью – *F. capucina* var. *capucina* (20,6), *F. construens* (45,7), *F. leptostauron* (31,2) и *S. pulchella* (31,7 %). Все часто встречаемые виды данных родов в донных отложениях оз. Телецкое, за исключением *F. arcus* и *F. pinnata*, являются широко распространенными в водоемах различного типа бореальной зоны. *F. arcus* имеет более узкий температурный диапазон, относится к stenotherмным видам и широко распространен в холодных водах умеренной зоны и Арктики, *F. pinnata* – бореальный вид. Встречаемость видов, обитающих преимущественно в горных водоемах, в донных отложениях оз. Телецкое не превышает 5,5 %: *F. virescens* (1,0), *F. arcus* var. *recta* (4,0), *S. goulardii* (5,5) и *S. goulardii* var. *telezkoensis* (2,0). Интересно, что вид-космополит *S. capitata* в 6 из 10 случаев обнаружения в керне (с 105 по 165 мм) встречался именно в Малый ледниковый период, т.е. при пониженной температуре воды. Можно ли его использовать в качестве индикатора периода похолодания? Вопрос остается открытым, так как встречаемость вида крайне низка.

Количество створок видов *Fragilaria* и *Synedra* в исследованных слоях донных отложений оз. Телецкое невелико по сравнению с таковой величиной для неизменного доминанта *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Naw. (до 53, 1 млн ств./г). Максимальная численность *F. pinnata* составила 1,76 млн ств./г, *F. capucina* var. *capucina* – 0,56, *F. leptostauron* – 0,28, *F. construens* – 0,20, *F. arcus* – 0,18, *S. pulchella* – 1,16, *S. vaucheria* – 1,00, *S. rumpens* – 0,88, *S. ulna* – 0,87 млн ств./г. Поэтому значимыми могут выступать не абсолютные значения количества створок в разных слоях донных отложений, а их доли в общем количестве.

Ранее сделанные нами выводы (Сутченкова, Митрофанова, 2013) о корреляции количества створок холодолюбивого вида *A. subarctica* с температурой в период 2000 по 1300 гг, реконструированной по ледниковому керну с седловины г. Белуха (Папина и др., 2011), позволяют предположить, что вид положительно коррелирующий с *A. subarctica*, может также являться достаточно подходящим палеоиндикатором. Но проведенный анализ выявил отсутствие корреляции практически со всеми видами, например, с *S. ulna* (0,335) и *S. vaucheria* (0,154). Лишь с *F. pinnata* корреляция была значимая (0,598), и, вероятно, этот вид может быть использован в качестве палеоиндикатора наряду с *A. subarctica*. Но он является очень широко распространенным в водоемах разного типа всей бореальной зоны и поэтому индикационными свойствами не обладает. Для таких целей предпочтительны виды с более узкой экологической валентностью. Возможно, значимыми для индикации могут быть размерные характеристики *F. pinnata*, что предполагается проверить в дальнейшем.

ВЫВОДЫ

Анализ видов из родов *Fragilaria* Lyngb. и *Synedra* Ehr. в керне донных отложений оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой, показал, что выявленные виды по экологической характеристике являются широко распространенными в различных водоемах умеренной и арктической зон, по местообитанию – в основном бентосными формами. Это может свидетельствовать о большом влиянии водосборного бассейна на альгофлору озера и слабом развитии истинно планктонного комплекса ввиду большой проточности водоема. Использование широко распространенных видов из родов *Fragilaria* Lyngb. и *Synedra* Ehr. в качестве палеоиндикаторов, как это было сделано для небольших по площади и неглубоких альпийских озер Европы, малоинформативно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Партнерского проекта фундаментальных исследований СО РАН № 34 «Динамика природной среды Сибири и Дальнего Востока в голоцене и ее сопряженность с глобальными атмосферными процессами: высокоразрешающие реконструкции как функция геохимического отклика современных морских и озерных отложений».

ЛИТЕРАТУРА

- Барينو**, 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.
Дарьин А.В., **Калугин** И.А. Реконструкция климата Горного Алтая по данным литолого-геохимических исследо-

ваний донных осадков озера Телецкое // Известия РАН. Серия географическая, 2012. – № 6 – С. 63–70

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. – Л.: Наука, 1974 – 403 с.

Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Советская наука, 1951. – Вып. 4. – 620 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.

Папина Т.С., Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю. Сравнение реконструкций изменения температуры на Алтае за последние 750 лет по данным с ледника на горе Белуха и донным осадкам Телецкого озера // Лёд и снег, 2011. – № 1 (113). – С. 114–118.

Скабичевская Н.А. Средне-позднечетвертичные диатомеи Приенисейского Севера. – М.: Наука, 1984. – 154 с.

Скабичевская Н.А. Диатомеи Телецкого озера и климатические реконструкции последнего тысячелетия // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. – Новосибирск: Изд-во Инта археологии и этнографии, 2000. – С. 428–432.

Сутченкова О.С., Митрофанова Е.Ю. Вариация размеров *Aulacoseira subarctica* в разновозрастных слоях донных отложений озера Телецкое / Материалы XIII-й конференции молодых учёных ИВЭП СО РАН «ШАГ В НАУКУ» (Барнаул, 7-8 февраля 2013 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 73–78.

Хурсевич Г.К. Атлас видов *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* (Bacillariophyta) из верхне-кайнозойских отложений СССР. – Минск: Наука и техника, 1989. – 167 с.

Hartley B. An Atlas of British Diatoms. – Biopress Ltd., 1996. – 601 p.

Schmidt R., Kamenik Ch., Lange-Bertalot H., Klee R. *Fragilaria* and *Staurisira* (Bacillariophyceae) from sediment surfaces of 40 lakes in the Austrian Alps in relation to environmental variables, and theirs potential for paleoclimatology // Limnology, 2004. – 63 (2). – P. 171–189.

SUMMARY

We analyzed the species from genera *Fragilaria* Lyngb. and *Synedra* Ehr. as probable paleoindicators of climate change in the region. These species were revealed in the upper 1000 mm of the 1940 millimeter length core taken from the bottom sediments of Lake Teletskoye in the underwater Sofia Lepneva Ridge. It was found that all species are benthic forms, widely spread in the waterbodies of the boreal and arctic zones by their ecological characteristics. In contrast to small and shallow alpine lakes of Europe, their use as paleoindicators in the deep flowing waterbody is not informative.