

ТЕРАТОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В АЛГОФЛОРЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА (Русский Алтай)

Приведены данные по тератологическим формам диатомовых водорослей, обнаруженным в планктоне и перифитоне Телецкого озера, и рассмотрены возможные причины их образования. Из семи выявленных таксонов из родов *Diatoma*, *Fragilaria*, *Hannaea*, *Pseudostaurosira*, *Staurosira* и *Staurosirella* для четырех способность образовывать тератотормы отмечена впервые. Установлено, что тератотормы у диатомей в Телецком озере появляются у обитателей дна и обрастаний в местах с повышенной антропогенной нагрузкой, где наблюдается увеличение концентрации фосфора и аммонийного азота.

Введение

Образование тератологических, или уродливых, форм у водорослей является откликом одноклеточных организмов на изменения условий окружающей среды. Считается, что на их появление могут повлиять химические, физические и механические отклонения в среде; паразитизм водорослей и/или грибов; аномалии при половом процессе; генетические изменения. Но до сих пор причины возникновения уродливых форм у водорослей часто остаются в сфере предположений [1]. В литературе отмечены факты появления таких форм у синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей. Особенно наглядно это проявляется у диатомей, морфологические изменения кремнистого панциря которых можно увидеть с помощью светового микроскопа, а изменения в его ультраструктуре — с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Водоросли являются первичными продуцентами органического вещества и находят-

ся в основании пищевой пирамиды, имеют быстрый отклик на любые воздействия ввиду короткого жизненного цикла и, в целом, определяют состояние экосистемы водоема. Поэтому изменения в их сообществах могут привести к изменениям на экосистемном уровне. Цель работы — выявление тератологических форм у диатомовых водорослей в планктоне и перифитоне Телецкого озера и возможных причин их появления.

Материалы и методы исследования

Исследование диатомовых водорослей были проведены в Телецком озере (51°31'45" с.ш. и 87°42'53" в.д.), расположенном на высоте 436 м над ур. м. Это глубокий (максимальная глубина 323,3 м, средняя 174 м) олиготрофный водоем тектонического происхождения на юге Западной Сибири. Озерная котловина протянулась на 78 км с максимальной шириной 5,2 км, площадью водной поверхности 227,3 км², объемом 41,1 км³. Озеро разделено на две морфометрические части — меридиональную и широтную [2].

Качественные пробы фитопланктона отобраны по всему озеру в пелагиали и литорали, пробы фитоперифитона — вблизи устьев основных притоков в 1989-2011 гг. (рис. 1). Диатомовые водоросли очищали от органического материала выжиганием в перекиси водорода H₂O₂, наносили на «столики», напыляли золото-палладиевой смесью и изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400 N. Определение биогенных элементов проводили на портативном спектрофотометре DR 2800 (Германия) по общепринятым методикам [3, 4] в 2010-2011 гг. Концентрации тяжелых металлов (ТМ) (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) определяли методом атомно-абсорбционной

Е.Ю. Митрофанова*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук

Е.И. Третьякова, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук

*Адрес для корреспонденции: emit@iwep.ru

спектрометрии с использованием пламенно-го варианта атомизации (ацетилен — воздух) и электротермической атомизации на приборе SOLAAR M-6 [5, 6].

Результаты и их обсуждение

В Телецком озере выявлены тератоформы у диатомовых водорослей из родов *Diatoma*, *Fragilaria*, *Hannaea*, *Pseudostaurosira*, *Staurosira* и *Staurosirella* (табл. 1). В основном наблюдали изменения в форме панциря, причем у некоторых форм — весьма значительные (рис. 2: 1, 2, 5, 6, 8, 10), у других — слегка заметные (рис. 2: 3, 7, 11). Лишь у двух форм были отмечены аномалия в штриховке центрального поля панциря

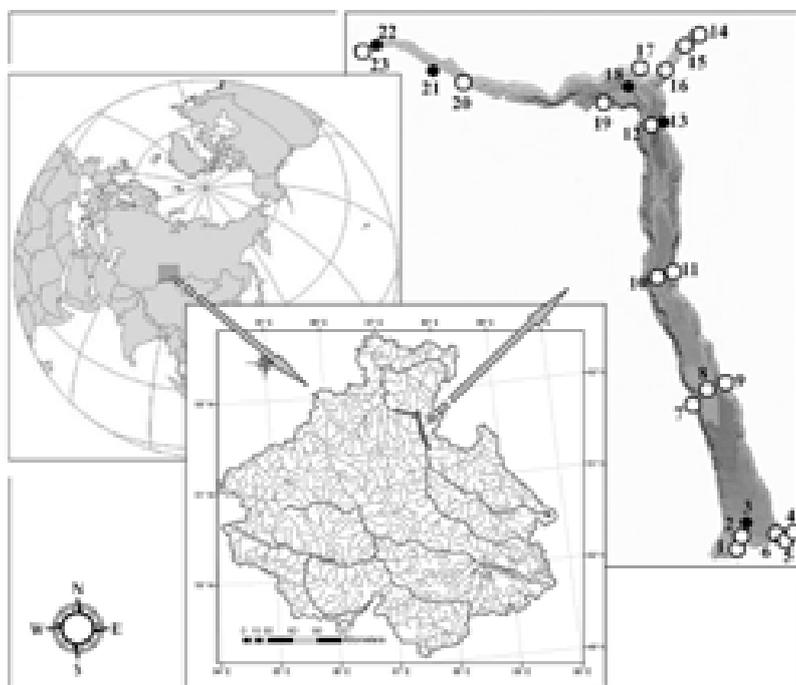


Рис. 1. Карта-схема расположения Телецкого озера и точки отбора проб фитопланктона и фитоперифитона с выделением мест обнаружения тератоформ (черные точки): 1 — устье р. Чулышман; 2 — Чулышман, литораль; 3 — Чулышман, пелагиаль; 4 — устье р. Кыги; 5 — Кыгинский залив, литораль; 6 — Кыгинский залив, пелагиаль; 7 — устье р. Большие Чили; 8 — Челюш, пелагиаль; 9 — устье р. Челюш; 10 — Кокши, пелагиаль; 11 — устье р. Кокши; 12 — Корбу, пелагиаль; 13 — устье р. Корбу; 14 — устье р. Камги; 15 — Камгинский залив, литораль; 16 — Камгинский залив, пелагиаль; 17 — устье р. Ок-Порок или Чеченек; 18 — Яйлю, пелагиаль; 19 — Колдор, литораль; 20 — устье р. Самыш; 21 — Каменный залив, литораль; 22 — Артыбаш, пелагиаль; 23 — исток р. Бии.

(рис. 2: 4) и асимметричность штриховки всей створки (рис. 2: 12).

Тератоформы отмечены в планктоне пелагиали напротив устья р. Чулышман на юге озера (рис. 1: 3; 30.09.2010 г., $h = 0$ м), у п. Яйлю, на стыке широтной и меридиональной частей озера (рис. 1: 18; 27.06.2009 г., $h = 0$ м и 17.09.2009 г., $h = 100$ м) и п. Артыбаш на севере (рис. 1: 22; 15.06.1992 г. и 13.08.2010 г., $h = 0$ м). В перифитоне уродливые клетки у диатомовых выявлены в устье р. Корбу (рис. 1: 13; 13.07.2011 г.) и изолированном Каменном заливе широтной части озера (рис. 1: 21; 26.07.2005 г.).

Находки тератоформ были единичные, больше всего их отмечено у р. Чулышмана и в Каменном заливе (табл. 1).

Для аммонийного азота (NH_4^+) и фосфора (PO_4^{3-}) выявлены значительные изменения концентраций: $< 0,005$ - $0,210$ и $0,001$ - $0,072$ мг л⁻¹ (табл. 2); для нитратного азота (NO_3^-) и кремния (Si) — менее существенные: $0,53$ - $3,16$ и $2,24$ - $4,71$ мг л⁻¹, соответственно. Концентрации ТМ (табл. 3) в целом по всему озеру были ниже ПДК, кроме Си и Fe, причем в июне концентрации Си были выше ПДК практически во всех точках, исключение — район устья р. Чулышман. В августе превышение ПДК было выявлено в притоках восточного и северного побережья озера (реки Кокши, Корбу и Чеченек) и в пелагиали на юге (Чулышман) и севере (Яйлю) озера. Концентрации Fe в р. Чулышман были выше ПДК в июне, р. Самыш — в августе (табл. 3).

Аномалии в форме панциря диатомовых водорослей — наиболее часто встречающаяся ситуация [7], а изменения в структуре его поверхности (расположение штрихов, рядов точек и швов) — более специфическая реакция диатомей. Морфологические изменения у диатомовых водорослей могут носить приспособительный и неприспособительный характер в ответ на изменения условий окружающей среды [8]. Например, появление тератологических форм диатомей часто является следствием загрязнения вод ТМ [8-10] или органическими соединениями [11, 12], в высокогорных озерах — повышенной солнечной радиацией [13].

В настоящее время у 124 таксонов диатомовых водорослей из 63 родов выявлена способность к образованию тератоформ [7]. Все виды клеточных уродств отнесены к семи типам, из которых наиболее часто встречаются изменения в форме створок и их штриховке. Среди тератоформ, обнаруженных в аль-

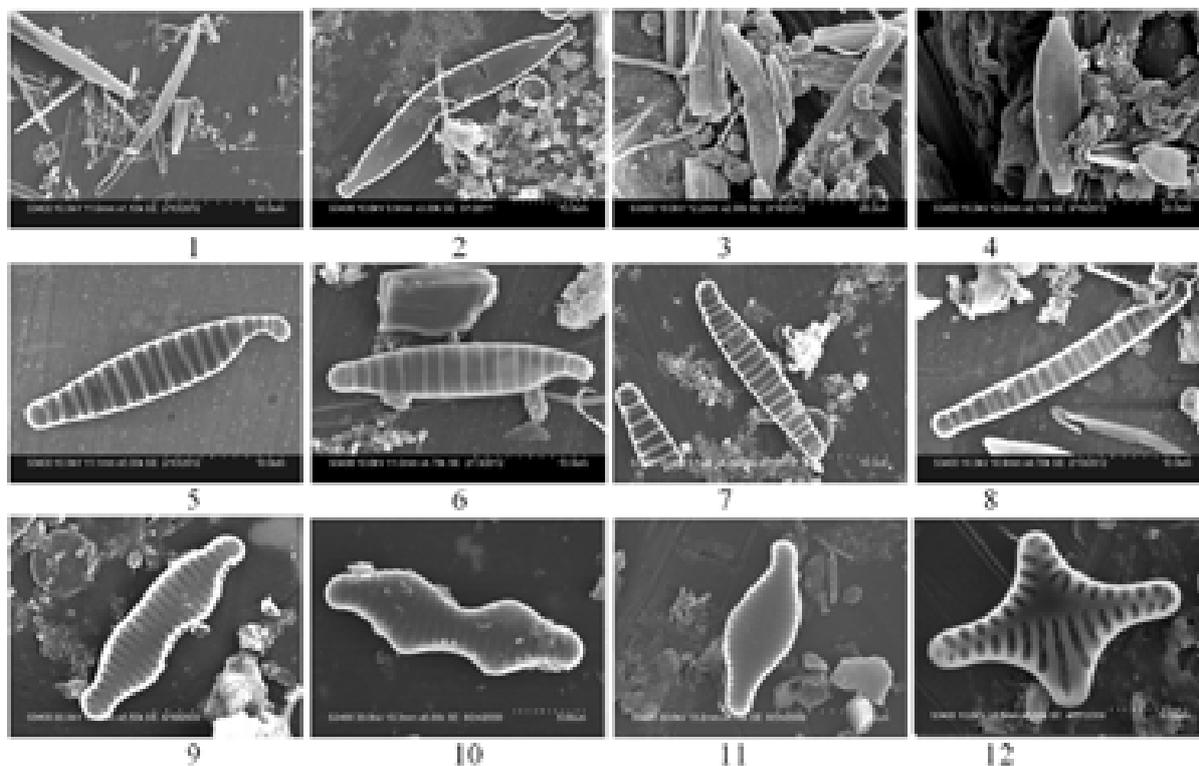


Рис. 2. Тератологические формы диатомовых водорослей в планктоне и перифитоне Телецкого озера: 1-4 – *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr.; 5-7 – *Diatoma moniliformis* Kütz.; 8 – *Diatoma tenuis* Ag.; 9-10 – *Staurosira construens f. binodis* (Ehr.) Hamil.; 11 – *Pseudostaurosira brevistriata* (Grun.) Will. et Round; 12 – *Staurosirella leptostauron* (Ehr.) Will. et Round (4, 12 – изменения в штриховке центральной части створок).

Таблица 1

Список таксонов диатомовых водорослей планктона и перифитона Телецкого озера, образующих тератологические формы.

Таксоны	Точки отбора				
	Чулышман, пелагиаль	р. Корбу, устье	Яйлю, пелагиаль	Каменный залив	Артыбаш, пелагиаль
<i>Diatoma tenuis</i> Ag.	+	–	–	–	–
<i>Diatoma moniliformis</i> Kütz.	++	–	+	–	–
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	–	–	+	–	–
<i>Hannaea arcus</i> (Ehr.) Patr.	+	++	–	–	+
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grun.) Will. et Round	–	–	–	+	–
<i>Staurosira construens f. binodis</i> (Ehr.) Hamil.	–	–	–	+++	–
<i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehr.) Will. et Round	–	–	–	–	+
Общее число таксонов	4	2	2	4	2

Примечание: «+» вид был встречен, «–» вид не встречен.

Таблица 2

Концентрации биогенов в воде Телецкого озера в 2010-2011 гг.

Точки отбора	Дата	Биогены, мг л ⁻¹			
		NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Si
Чулышман, пелагиаль	29.09.2010	0,058	0,83	0,019	2,97
	12.07.2011	0,210	0,63	0,009	2,94
	23.08.2011	0,010	0,57	0,001	2,91
р. Корбу, устье	13.07.2011	0,023	3,16	0,003	4,01
	24.08.2011	<0,005	0,53	0,001	4,71
Яйлю, пелагиаль	12.08.2010	0,070	0,66	0,003	2,85
	30.09.2010	0,034	0,83	0,003	2,81
	13.07.2011	0,088	1,03	0,003	2,42
	25.08.2011	0,022	0,59	0,003	2,62
Каменный залив	13.08.2010	0,070	1,25	0,006	2,93
	30.09.2010	0,041	1,72	0,003	2,24
	14.07.2011	0,062	2,14	0,072	3,09
	26.08.2011	0,046	1,45	0,023	3,16
Артыбаш, пелагиаль	13.08.2010	0,070	0,77	0,005	2,88
	30.09.2010	0,080	0,82	0,003	2,88
	14.07.2011	0,062	1,13	0,004	2,39
	26.08.2011	0,060	0,60	0,005	2,61
Среднее для поверхностного слоя	12-13.08.2010 (n = 8)*	0,075±0,002	0,83±0,07	0,005±0,0009	2,91±0,05
	29-30.09.2010 (n = 12)	0,049±0,005	0,89±0,08	0,006±0,0013	2,61±0,09
	12-14.07.2011 (n = 20)	0,098±0,016	1,36±0,29	0,024±0,008	2,65±0,10
	23-26.08.2011 (n = 23)	0,026±0,005	0,70±0,07	0,004±0,0016	2,79±0,06

Примечание: *число проб; жирным шрифтом выделено превышение средних концентраций для поверхностного слоя озера.

гофлоре Телецкого озера, выявлены деформированные клетки именно этих двух типов (рис. 2: 1-3, 5-11 и 4, 12, соответственно). Для четырех из семи выявленных нами таксонов, а именно *Diatoma tenuis*, *D. moniliformis*, *Staurisira construens f. binodis* и *Staurosirella leptostauron* способность образовывать тератоформы выявлена впервые, т.к. они не приводятся в списке диатомей, способных к образованию таких форм (для *S. construens* указан только вид без формы) [7].

Наиболее сильным фактором для образования тератоформ у водорослей считается загрязнение ТМ [14], например, Cr, Cd, Cu, Zn, Sr [15]. Их концентрации должны быть достаточно высоки, чтобы вызвать образование уродств хотя бы в одном клеточном цикле [16]. Но выделить ответ диатомей на какой-то один ТМ бывает сложно, т.к. такое загрязнение часто сопровождается ацидофикацией [16, 17]. Известно, что тератоформы у *Hannaea arcus* появляются при загрязне-

Таблица 3

Концентрации ТМ в воде Телецкого озера в 2012 г.

Точки отбора	Металлы, мг л ⁻¹							
	As	Cd	Cu	Cr ⁶⁺	Fe	Mn	Pb	Zn
Июнь								
р. Чулышман, устье	<0,5	<0,01	1±0,4	0,3±0,1	249±57	3±1	<0,2	<4
Чулышман, пелагиаль	<0,5	0,06±0,03	8±4	<0,2	89±27	4±1	<0,2	<4
Корбу, пелагиаль	<0,5	<0,01	4±2	<0,2	87±26	9±3	<0,2	<4
Яйлю, пелагиаль	<0,5	<0,01	4±2	<0,2	44±13	2,0±0,6	<0,2	<4
Артыбаш, пелагиаль	<0,5	0,04±0,02	4±2	<0,2	10±4	7±2	<0,2	<4
Август								
р. Чулышман, устье	<0,5	0,26±0,09	<0,1	<0,2	44±13	7±2	<0,2	<4
Чулышман, пелагиаль	<0,5	<0,01	2±0,8	<0,2	22±8	<1	<0,2	<4
р. Кокши, устье	<0,5	<0,01	<0,1	<0,2	20±7	<1	<0,2	<4
Кокши, пелагиаль	<0,5	<0,01	2±0,8	<0,2	10±4	<1	<0,2	<4
р. Корбу, устье	<0,5	<0,01	3±1	<0,2	6±2	<1	<0,2	<4
Корбу, пелагиаль	<0,2	<0,01	2±0,8	<0,2	19±7	1±0,3	<0,2	<4
р. Чеченек, устье	<0,5	<0,01	4±2	<0,2	14±5	<1	<0,2	<4
Яйлю, пелагиаль	<0,5	<0,01	3±1	<0,2	28±8	2±0,6	<0,2	<4
Каменный залив	<0,5	<0,01	<0,1	<0,2	26±8	1±0,3	<0,2	<4
Артыбаш, пелагиаль	<0,5	0,04±0,02	<0,1	<0,2	10±4	4±1	<0,2	<4
ПДК _{р.х.}	50,0	5,0	1,0	20,0	100,0	10,0	6,0	10,0

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение ПДК_{р.х.}

нии воды Cd, Cu, Fe и Zn, у *Pseudostaurosira brevistriata* – Cd, As, Pb и Hg в водном столбе, Cd, Cu, Hg, Pb и Zn в донных отложениях [7]. Высокие концентрации Cd (100 мг/л) могут привести к образованию тератоформ у *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun., *Encyonema minutum* (Hilse) D.G. Mann, *Mayamaea agrestis* (Hust.) Lange-Bert., *Gomphonema parvulum* (Kütz.) Kütz. и *Eolimna minima* (Grun.) Lange-Bert. [14]. В воде Телецкого озера большинство изученных ТМ отмечены на фоновом уровне, а максимальные и нередко средние концентрации Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Hg иногда превышают ПДК_{р.х.} [18]. Но эти повышенные концентрации ТМ являются природной особенностью химического

состава воды озера, отражающей геохимическую специализацию геологических образований, проявленных на его водосборной площади. Так, повышенная концентрация Fe в устье р. Чулышман в июне 2012 г. (табл. 3), вероятно, может быть связана с выходом подземных вод в зоне активного разлома (выше по течению реки расположен сероводородный источник). Превышения ПДК по Cu могут быть обусловлены повышенным местным геохимическим фоном, определяемым наличием в бассейне озера ряда мелких проявлений сульфидных и окисленных руд в форме малахитовой минерализации, т.к. часть бассейна озера входит в ареал золото-серебряно-медной минерализации [19].

Нефтепродукты могут тоже инициировать образование тератоформ, если их концентрации в воде достигают значительного уровня. По данным [18] максимальное содержание нефтепродуктов в воде Телецкого озера не превышает $0,18 \text{ мг дм}^{-3}$ ($2,4\text{-}3,6 \text{ ПДК}_{\text{р.х.}}$). Отмечено увеличение их концентраций в 1,5-2 раза в прибрежной зоне около поселков. Максимум приходится на туристский сезон (июль-август, $2\text{-}3 \text{ ПДК}_{\text{р.х.}}$), в конце навигации содержание нефтепродуктов почти по всему озеру ниже $\text{ПДК}_{\text{р.х.}}$ [18]. Роскомгидромет приводит и более неутешительные данные. Так, за период 1985-2000 гг. осенью средние концентрации нефтепродуктов в пелагиали Яйлю превышали $\text{ПДК}_{\text{р.х.}}$ в 12 раз [20]. Но следует отметить, что повышенные концентрации нефтепродуктов в озерной воде отмечают только в поверхностном слое озера.

Другим потенциальным тератогенным фактором могут выступать превышенные или сниженные концентрации биогенных элементов [21]. В Телецком озере в 2010-2011 гг. выявлено, что в районе устья р. Чулышман концентрации аммонийного азота в июле и фосфора в сентябре превышали средние концентрации для поверхностного слоя озера. Во все сроки отбора отмечены повышенные значения нитрат-иона и фосфора в Каменном заливе, в районе Артыбаша — аммонийного азота и фосфора в августе и сентябре (табл. 2). Выявлена высокая корреляционная зависимость между количеством тератоформ и средними для точек обнаружения тератоформ на озере концентрациями фосфора (коэффициент корреляции 0,82) и аммонийного азота (0,55), а также БПК₅ (0,75). Это может свидетельствовать о повышении антропогенной нагрузки на данные участки акватории озера и способствовать образованию тератоформ у водорослей. В устье р. Чулышман функционируют три турбазы, Каменный залив и п. Артыбаш находятся в северной широтной части озера, где расположены два самых крупных поселка и многочисленные турбазы. Водопад на р. Корбу является «визитной карточкой» озера с обязательным посещением для туристов. В пелагиали Яйлю наблюдается активное движение моторных лодок. Поэтому появление в этих местах тератоформ у водорослей вполне объяснимо.

Следует отметить, что все обнаруженные в Телецком озере тератоформы принадлежат к донным формам и обрастате-

Ключевые слова: Телецкое озеро, тератологические формы, диатомовые водоросли, биогены

лям и попали в пелагиаль с мелководных участков, где они развиваются на камнях или подводных растениях. Известно, что именно в перифитоне, как среди эпифитов, так и эпилитов, диатомовые чаще образуют уродливые формы в связи с локальным поступлением загрязняющих веществ и длительностью их воздействия на клеточный цикл водорослей [21]. В планктоне озера такого влияния не выявлено из-за снижения концентраций загрязняющих веществ и минимизации их воздействия на живые организмы. Среди планктонных диатомей образование тератоформ отмечают гораздо реже. Так, в кернах донных отложений из бухты Гамильтон оз. Онтарио (Канада) были выявлены тератоформы у *Stephanodiscus niagarae* Ehr. и *S. parva* Stoerm. et Håkán [22], что связывают со значительным загрязнением ТМ в бухте.

Образование тератоформ у диатомей может быть обусловлено не только избытком какого-нибудь химического элемента, но и его недостатком. Особенно это характерно для кремния, который нужен диатомеям при построении панциря. Минимальная концентрация кремнезема, необходимая для их роста, $0,2 \text{ мг SiO}_2/\text{л}^{-1}$ [23]. Исследование биогенов в 2010-2011 гг. показало, что кремния в воде Телецкого озера достаточно, а в местах обнаружения тератоформ его концентрации во многих случаях даже превосходят средние концентрации этого элемента для озера (табл. 2). Среднее содержание кремния в воде Телецкого озера ($2,65 \pm 0,10 \text{ мг л}^{-1}$) выше такового для Верхней Оби в районе г. Барнаула ($1,47 \pm 0,18$) и сравнимо со значениями для Новосибирского водохранилища ($2,84 \pm 0,19 \text{ мг л}^{-1}$ — данные за июль 2010-2011 гг.). В Байкале концентрации кремния в столбе воды в разные сезоны года не превышают 2 мг/л^{-1} [24], что также сопоставимо с данными по Телецкому озеру. Но развитие диатомовых в Байкале намного выше.

Тератоформы в альгофлоре Телецкого озера появились только в последние несколько десятилетий. Ранее, в начале XX в., их среди диатомей не находили [25]. В настоящее время спорадическое и локальное появление тератоформ в озере, в основном в литоральной зоне, может свидетельствовать о незначительном изменении условий. Сильного и длительного воздействия какого-либо фактора, который может повлиять на клеточный цикл водорослей, воспроизводство в популяции и, в конечном итоге, привести к наруше-

ниям в клетках и вызвать массовое появление тератоформ в популяции, не выявлено, чему все же в большей мере способствует большой объем водоема.

Заключение

Таким образом, в планктоне и перифитоне южной и северной частях акватории Телецкого озера отмечено появление единичных экземпляров тератологических форм. Образованию тератоформ более подвержены пеннатные формы диатомовых водорослей, в основном обитатели бентоса и обрастаний, где может наблюдаться локальное воздействие фактора. Среди обитателей планктона таких нарушений не выявлено. Тератоформы обнаружены в наиболее посещаемых туристами местах, на что, вероятно, влияют более высокие концентрации биогенов. Отмечена высокая корреляционная зависимость между количеством деформированных форм и средними для точек обнаружения тератоформ на озере концентрациями фосфора и аммонийного азота.

Авторы выражают благодарность коллегам ИВЭП СО РАН — А.Н. Эйрих и Т.Г. Серых за определение тяжелых металлов; С.Г. Платоновой за консультации по геологической структуре бассейна Телецкого озера; О.В. Ловцкой за рисунок территории Алтая и Люку Эктору (CRP-Gabriel Lippmann, Люксембург) за помощь в определении некоторых видов диатомей и предоставление публикаций по данной теме.

Литература

1. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. Тель-Авив: Ин-т эволюции ун-та Хайфы, 2006. 498 с.
2. Selegei V. Physical and geological environment of Lake Teletskoye / V. Selegei, B. Dehandschutter, J. Klerks, A. Vysotsky // Ann. Sci. Geol. 2001. V. 105. P. 1–310.
3. Унифицированные методы анализа воды. Руководство / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.
4. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши: учебное пособие / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 354 с.
5. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98. Количественный химический анализ воды, 1998.
6. ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Количественный химический анализ воды, 1998.
7. Falasco E. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review / E. Falasco, F. Bona, G. Badino, L. Hoffmann, L. Ector // Hydrobiologia. 2009a. V. 623. № 1. P. 1–35.
8. Falasco E. Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions / E. Falasco, F. Bona, M. Ginepro, D. Hlubikova, L. Hoffmann, L. Ector // Water SA. 2009b. V. 35. № 5. P. 595-606.
9. Sgro G.V. Diatom species composition and ecology of the Animas River watershed, Colorado, USA / G.V. Sgro, J.B. Poole, J.R. Johansen // West. North Amer. Natur. 2007. V. 67. № 4. P. 510-519.
10. Furey P.C. Teratology in Eunotia taxa in the Great Smoky Mountains National park and description of Eunotia macroglossa sp. nov. / P.C. Furey, R.L. Lowe, R.J. Jeffrey // Diatom Res. 2009. V. 24. № 2. P. 273-290.
11. Rimet F. Impact of fluoranthene on diatom assemblages and frustule morphology in indoor microcosms / F. Rimet, L. Ector, A. Dohet, H.M. Cauchie // Vie et Milieu-Life and Environment. 2004. № 54. P. 145-156.
12. Dziengo-Czaja M. Teratological forms of diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water pollution in the western part of Puck Bay (southern Baltic Sea) / M. Dziengo-Czaja, J. Koss, A. Matuszak // Int. J. Oceanog. Hydrobiol. 2008. V. 37. № 2. P. 119-132.
13. Cabrol N. Signatures of habitats and life in Earth's high-altitude lakes: clues to Noachian aqueous environments on Mars / N. Cabrol, Ch. McKay, E. Grin, K. Kiss, E. Acs, B. Toth, I. Grigorszky, K. Szabo, D. Fike, L. Eotvos, A. Hock, C. Demergasso, L. Escudero, P. Galleguillos, G. Chong, B. Grigsby, J.Z. Roman, C. Tambley // The Geology of Mars: Evidence from Earth-Based Analogs / M. Chapman (ed.). Cambridge University Press, 2007. P. 349-370.
14. Morin S. Scanning electron microscopy observations of deformities in small pinnate diatoms exposed to high cadmium concentrations / S. Morin, M. Coste, P.B. Hamilton // J. Phycol. 2008. № 44. P. 1512-1518.
15. Tapia P.M. Diatoms as bioindicators of pollution in the Mantaro River, Central Andes, Peru // Int. J. Environ. Heal. 2008. V. 26. № 1. P. 82-91.
16. Dickman M. Deformity frequencies of benthic marine diatoms associated with contaminated sediments in Hong Kong // J. Environ. Sci. 1998. V. 10. № 1. P. 13-24.
17. Luis A. Effects of acid mine drainage on benthic diatom communities, stream sediments and surface waters of Lousal and Aljustrel areas / A. Luis, S.F.P. Almeida, P. Teixeira, E. Ferreira Da Silva / Resumen Workshop. Macla, 2008. V. 10. P.134.

18. Шевченко Г.А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай). Дис. ... канд. геол. – минер. наук. Томск, 2010. 22 с.
19. Карта минералов и металлогенных зон Алтайского края и Республики Алтай, 2000. М: 1:1000000 (ФГУП Горный Алтай ПСЕ).
20. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши за 1985–2000 гг. Новосибирск, 1986-2001.
21. Majewska R. Benthic diatoms of the Vistula River estuary (Northern Poland): Seasonality, substrata preferences, and the influence of water chemistry / R. Majewska, A. Zgrundo, P. Lemke, M. De Stefano // *Phycol. Res.* 2012. V. 60. P. 1–19.
22. Yang J. – R. Morphology and ultrastructure of teratological forms of the diatoms *Stephanodiscus niagarae* and *S. parva* (Bacillariophyceae) from Hamilton Harbour (Lake Ontario, Canada) / J. – R. Yang, H. C. Duthie // *Hydrobiologia.* 1993. V. 269/270. P. 57-66.
23. Офицеров Е.Н. Кремний в биосфере // *Химия и жизнь.* 2002. № 7. С. 32-35.
24. Домышева В.М. Динамика концентраций биогенных элементов в воде озера Байкал / В.М. Домышева, М.В. Сакирко, Н.А. Онищук, М.Н. Шимараев // *Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Мат. III Всерос. конф. с междунар. участием, Барнаул: АРТ, 2010. С. 93-96.*
25. Порецкий В.С. Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек / В.С. Порецкий, В.С. Шешукова // *Диатомовый сборник. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. С. 107-173.*

E.Yu. Mitrofanova, E.I. Tretyakova

TERATOLOGICAL FORMS OF DIATOM ALGAE IN ALGA-FLORA OF LAKE TELETSKOYE (RUSSIAN ALTAI)

Data on teratological forms of diatom algae observed in plankton and periphyton of Lake Teletskoye are shown and possible causes of their formation are viewed. Among seven detected genera: *Diatoma*, *Fragilaria*, *Hannaea*, *Pseudostaurosira*, *Staurosira* and *Staurosirella* it was demonstrated four genera are capable to produce teratological forms. It was found that teratological forms are characteristic for bottom and periphytic forms found in areas under increased anthropogenic impact with higher concentrations of phosphorus and ammonium.

Key words: Lake Teletskoye, teratological forms, diatom algae, biogenes