

Видовой состав диатомовых водорослей в современных донных отложениях озер Центрально-Тунгусского плато, Эвенкия

Г. Н. БОЛОБАНЩИКОВА¹, О. В. ПАЛАГУШКИНА², Д. Ю. РОГОЗИН^{1, 3}

¹Обособленное подразделение Федерального исследовательского центра КНЦ СО РАН “Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук” (ИБФ СО РАН) 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50
E-mail: galina.ibp@mail.ru

²Казанский федеральный университет 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

³Сибирский федеральный университет 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

Статья поступила 15.05.2022

После доработки 17.08.2022

Принята к печати 17.10.2022

АННОТАЦИЯ

Впервые в пресноводных озерах Чеко и Заповедное, расположенных в таежной зоне юга Эвенкии на территории государственного заповедника “Тунгусский”, определен видовой состав диатомовых водорослей современных донных отложений. Выявлено 156 таксонов диатомовых водорослей и определены их экологические предпочтения. Выявлены сходства и различия видового состава озер. Исследования диатомовых комплексов озер Чеко и Заповедное показали наличие в видовом составе широко распространенных видов, свойственных пресноводным водоемам таежной зоны на указанной широте. Особенностью оз. Чеко можно назвать меньшую долю планктонных видов и присутствие вида *Aneumastus tusculus* (Ehrenberg) D. G. Mann & A. J. Stickle, который описывается как ископаемый. Выявлена зависимость видового состава диатомовых водорослей от метеорологических параметров окружающей среды (температуры и количества осадков).

Ключевые слова: диатомовые водоросли, донные отложения, Эвенкия, *Aneumastus tusculus*.

ВВЕДЕНИЕ

Створки диатомовых водорослей хорошо сохраняются в донных отложениях озер и морей, поэтому являются одним из наиболее информативных палеоиндикаторов изменений физико-химических условий, обусловленных изменениями климата, либо внутрен-

ними процессами в водоеме (гидрологический режим, изменения трофического статуса) [Rühland et al., 2003]. Для реконструкции климата по древним донным отложениям необходимо знать современный видовой состав, который рассматривается как функция состояния данного водоема. На основе сравнитель-

ного анализа видového состава диатомовых водорослей нескольких водоемов могут быть построены трансферные функции для реконструкции климатически обусловленных параметров водоема, таких как температура, соленость, содержание фосфора и т. д., для соответствующей территории [Давыдова, 1985].

Обширный регион Средней Сибири к востоку от р. Енисей является до сих пор “белым пятном” на палеолимнологической карте, в первую очередь из-за его труднодоступности. Центрально-Тунгусское плато находится в центре большого района, почти не изученного с точки зрения палеоклимата. К настоящему времени все опубликованные палеоклиматические реконструкции голоцена Сибири выполнены на озерах, расположенных в радиусе не менее 800 км от места наших исследований, как в меридиональном, так и в широтном направлении, и принадлежат к другим климатическим зонам [Fedotov et al., 2012; Krivonogov et al., 2012; Nazarova et al., 2013; Syrykh et al., 2017; и мн. др.]. Биоразнообразие диатомовых водорослей в водоемах данного региона также практически не изучено.

В связи с глобальным изменением климата особый интерес представляют объекты, расположенные на границе вечной мерзлоты. Именно в такой местности расположены озера Чеко и Заповедное. Их ценность также обусловлена полным отсутствием антропогенного воздействия на экосистемы как самих водоемов, так и окружающей их территории. Данная местность примечательна еще и тем, что 30 июня 1908 г. здесь произошел так называемый “Тунгусский феномен” – уникальный мощный атмосферный взрыв неизвестной природы (“Тунгусский метеорит”), предполагаемый эпицентр которого находится примерно в 7 км от оз. Чеко. Именно поэтому его донные отложения неоднократно вызывали интерес исследователей. На основе морфологических характеристик и географического положения высказывалось предположение, что это озеро образовалось в результате Тунгусской катастрофы 1908 г. и является кратером от падения осколка небесного тела [Gasperini et al., 2007, 2009]. Однако более детальный анализ возраста донных отложений показал, что озеро существенно старше 1908 года [Рогозин и др., 2017]. В данной работе нами выявлен таксономический состав и проведен срав-

нительный анализ диатомовых комплексов двух озер. Данное исследование является этапом палеолимнологической реконструкции регионального климата по озерным отложениям, а также представляет фундаментальную ценность как выявление современного биоразнообразия диатомовых водорослей в малоизученном регионе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Озеро Чеко (60°57,904' с. ш., 101°51,551' в. д.) расположено на Центрально-Тунгусском плато (Восточная Сибирь, Россия) в южной части Эвенкийского муниципального района Красноярского края, является проточным водоемом овальной формы, диаметром около 400 м и площадью 22 га, максимальной глубиной около 54 м. Озеро расположено в северной части заповедника “Тунгусский”, в 70 км от пос. Ванавара, в 7 км от предполагаемого эпицентра взрыва 1908 года. Через озеро протекает р. Кимчу, приток р. Чуня, впадающей в р. Подкаменная Тунгуска [Рогозин и др., 2017] (рис. 1). Уровень минерализации оз. Чеко составляет 100 мг/л в верхних слоях, ко дну снижается до 40 мг/л. Реакция среды близка к нейтральной – pH 6,9–6,7.

Озеро Заповедное (60°31,685' с. ш. 101°43,710' в. д.) расположено в 60 км к юго-западу от оз. Чеко, на границе территории Государственного природного заповедника “Тунгусский”, в 40 км к северо-западу от пос. Ванавара. Озеро имеет почти круглую форму диаметром около 350 м, площадь около 20 га, глубину 56 м. Озеро также проточное, в него впадает и из него же вытекает р. Верхняя Лакура, приток р. Подкаменной Тунгуски [Дарьин и др., 2020] (см. рис. 1). Минерализация оз. Заповедное в верхних слоях составляет 40 мг/л, ко дну увеличивается до 90 мг/л. Реакция среды близка к нейтральной – pH 6,7. В обоих озерах вода относится к гидрокарбонатному типу, основными катионами являются кальций (Ca²⁺) и натрий (Na⁺). В озере ранее был проведен предварительный анализ на определение изменения видového состава диатомовых водорослей в донных отложениях [Bolobanshchikova, Rogozin, 2020].

Керны донных отложений озер были получены: в оз. Чеко – в июне 2016 г., а в оз. Заповедное – в июле 2018 г. Керны отбирали в цен-

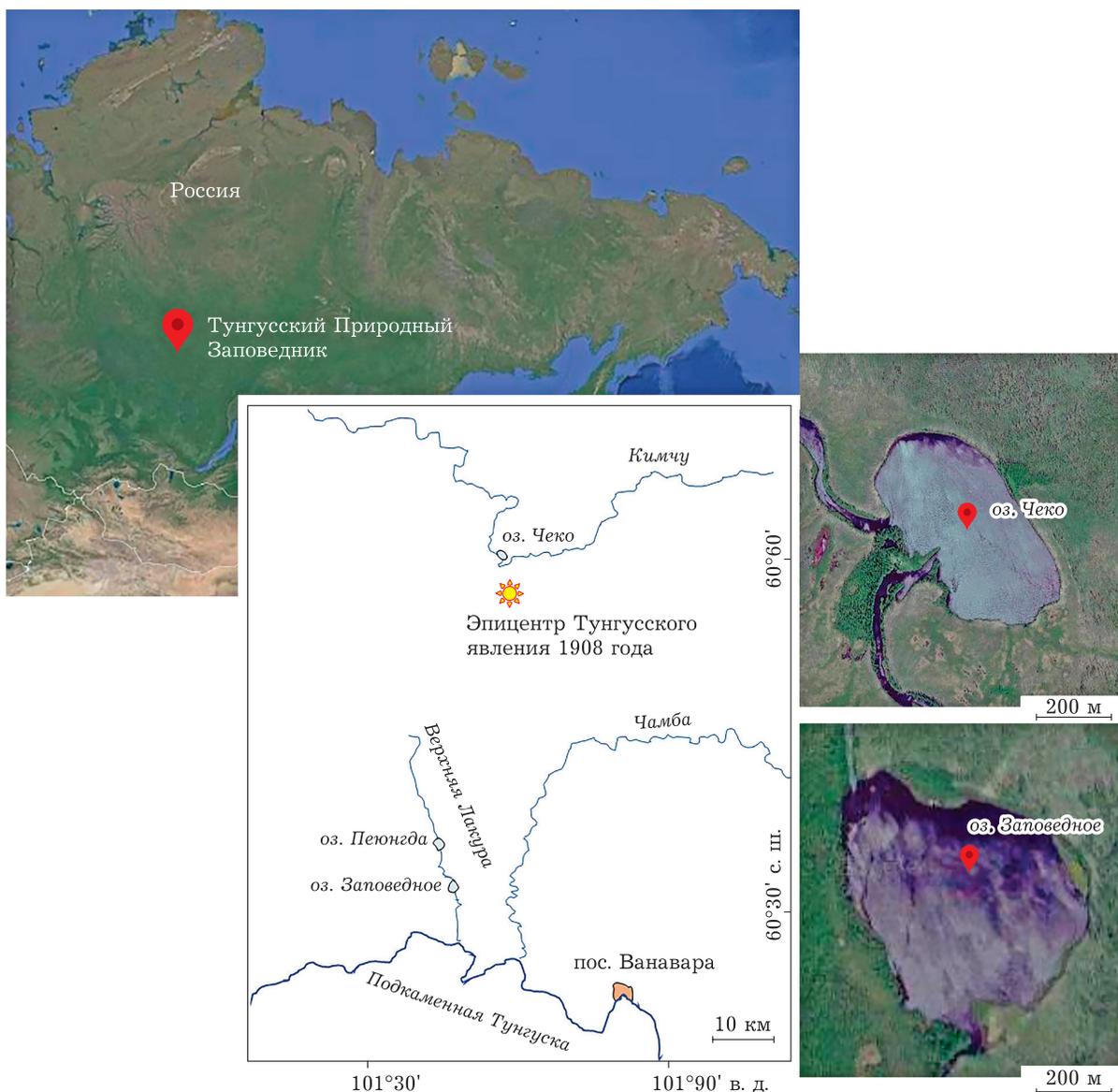


Рис. 1. Карта-схема области исследования

тральной глубоководной части озер в точках с вышеуказанными координатами с помощью гравитационного пробоотборника UWITEC (Австрия) со съемной пластиковой трубой диаметром 90 мм. Использовали прозрачную трубу, поэтому граница “вода – дно” была отчетливо видна невооруженным глазом. Следовательно, исключена возможность потери или разрушения верхних слоев донных отложений. Керна транспортировались на берег в вертикальном положении. На берегу каждую трубу разрезали вдоль и разделяли пополам на две продольные D-секции с помощью двух тонких пластин из нержавеющей стали, вставленных в разрез. После разделения керна пластины

удалялись сдвигом в поперечном направлении, что позволяло сохранить ненарушенными поверхности разреза с видимыми горизонтальными слоистыми неоднородностями. Затем делались серии цветных фотографий кернов с закрепленной миллиметровой линейкой, после чего керны разделялись на поперечные образцы (слайсы) с шагом 10 мм. Слайсы помещали в герметичные полиэтиленовые пакеты с выдавленным воздухом и транспортировали для дальнейших анализов в лабораторию.

Образцы донных отложений, отобранные из каждого слайса, помещали в сушильный шкаф в центрифужных пробирках, где экспонировались в течение суток при тем-

температуре 70 °С. После экспозиции оставшийся осадок взвешивался для определения сухого веса. Из каждого образца была взята аликвота, приближенная к значению ≈0,05 г. Техническую обработку на диатомовый анализ проводили методом водяной бани [Абакумов и др., 1983], заменив использование последней на твердотельный термостат [Vолобаншчикова et al., 2018]. Образцы обрабатывались 30%-м раствором перекиси водорода при нагревании на твердотельном термостате до температуры 90 °С в течение 4 ч при постоянном добавлении реагента. После охлаждения пробы отмывали от перекиси дистиллированной водой при помощи пятикратного центрифугирования и разбавляли до конечного объема 1,5 мл. Постоянные препараты готовили с применением высокопреломляющей смолы Naphrax. Подсчет створок диатомовых проводили по параллельным трансектам до 300–500 створок в образце с помощью светового микроскопа (Axiocscope 40, Zeiss) и иммерсионной среды. Общее количество створок приравнивалось к 100 %. Доминирующими считались виды, составляющие 10 % и более от общего числа створок в препарате, субдоминантами – число створок которых колебалось от 5 до 10 %. Одновременно проводилась фотофиксация створок диатомовых. Для построения диаграмм качественного и количественного состава диатомовых в донных отложениях, а также для кластерного анализа использовали Past 2.15 [Hammer et al., 2001].

Для определения видовой принадлежности диатомовых использовали определители и систематические сводки [Kützing, 1844; Забелина и др., 1951; Krammer et al., 1986–1991; Lange-Bertalot, 2001]. При составлении систематического списка использована общепринятая в России классификация диатомовых водорослей [Глезер и др., 1988] с учетом последних ревизий [Генкал и др., 2013; Guiry, 2021 from <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=77640>].

Для сопоставления полученных результатов с метеоданными были использованы погодные архивы пос. Ванавара [Справочно-информационный портал “Погода и климат”, 2004–2022, <http://pogodaiklimat.ru/>].

Эколого-географическая характеристика давалась по отношению к местообитанию, солености, рН воды, по географическому

распространению и реофильности [Барина и др., 2006].

Оценка степени сходства видového состава диатомовых комплексов в исследуемых озерах вычислялась по формуле

$$K = \frac{2c}{a + b} \cdot 100 \%,$$

где K – коэффициент индекса степени сходства; a и b – число видов в озерах a и b ; c – число сходных видов [Sorensen, 1948].

Датировка отложений основана на ранее опубликованных оценках скорости накопления донных отложений в 4 мм год⁻¹ для оз. Чеко [Рогозин и др., 2017] и 1,6 мм год⁻¹ для оз. Заповедное [Дарьин и др., 2020].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Верхние 5 см донных отложений охватывают приблизительный интервал 2016–2004 гг. в оз. Чеко и 2018–1989 гг. – в оз. Заповедное. Всего в донных отложениях озер обнаружено 156 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода, относящихся к 26 семействам и 56 родам (таблица). Среди них есть виды, встречающиеся как в обоих озерах, так и обнаруженные только в оз. Чеко и только в оз. Заповедное (см. таблицу). Степень сходства видového состава диатомовых комплексов в исследуемых озерах оказалась высокой – 66 %.

Озеро Чеко

Видовой состав диатомовых донных осадков оз. Чеко насчитывает 115 таксонов рангом ниже рода (см. таблицу). Характерной особенностью донных отложений озера является большое разнообразие представителей рода *Pinnularia* (см. таблицу). Особый интерес представляет наличие створок вида *Aneumastus tusculus* (рис. 2).

Этот вид официально описывается как ископаемый [Lange-Bertalot, 2001]. Тем не менее он все же встречается и в настоящее время в экологически чистых водоемах с повышенной минерализацией, а также отмечается как крайне чувствительный к загрязнению окружающей среды, в том числе антропогенному. По этой причине все ниже его встречаемость в Европе в описаниях диатомовых комплексов [Lange-Bertalot, 2001].

Список и встречаемость видов диатомовых водорослей в современных донных осадках озер Чеко и Заповедное

Отдел Bacillariophyta		Чеко	Заповедное	Нab	Hal	pH	Reo	Geo
1		2	3	4	5	6	7	8
Класс Centrophyceae								
Порядок Thalassiosirales								
Семейство Stephanodiscaceae								
Род <i>Discostella</i> Houk & Klee 2004								
1	<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	–	+	P-B	i	ind	st	k
Род <i>Lindavia</i> (Schütt) De Toni & Forti 1900								
2	<i>Lindavia lemanensis</i> (Chodat) T. Nakov et al.	+	+	P	i	ind	–	b
Порядок Paraliales								
Семейство Paraliaceae								
Род <i>Ellerbeckia</i> Crawford 1988								
3	<i>Ellerbeckia arenaria</i> (D. Moore ex Ralfs) Dorofeyuk & Kulikovskiy	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
4	<i>Ellerbeckia arenaria</i> f. <i>teres</i> (Brun) R. M. Crawford	–	+	P-B	i	alf	st-str	k
Порядок Melosirales R. M. Crawford								
Семейство Melosiraceae								
Род <i>Melosira</i> C. Agardh 1824								
5	<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C. Agardh	+	+	–	mh	alf		–
6	<i>Melosira varians</i> C. Agardh	+	+	–	hl	alf	st-str	k
Порядок Aulacosirales								
Семейство Aulacosiraceae								
Род <i>Aulacoseira</i> Thwaites 1848								
7	<i>Aulacoseira</i> spp.	–	+	–	–	–	–	–
8	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müller) E. Y. Haworth	+	+	P	i	alb	st-str	a, k
9	<i>Aulacoseira valida</i> (Grunow) Krammer	+	+	P	i	alb	st-str	a-a
Класс Pennatophyceae								
Порядок Araphales								
Семейство Fragilariaceae								
Род <i>Fragilaria</i> Lyngbye 1819								
10	<i>Fragilaria austriaca</i> (Grunow) Lange-Bertalot	–	+	–	–	–	–	–
11	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>distans</i> (Grunow) Lange-Bertalot	+	C6	–	–	–	–	–
12	<i>Fragilaria famelica</i> (Kützing) Lange-Bertalot	–	+	–	i	alf	str	–
13	<i>Fragilaria</i> sp.	–	+	–	–	–	–	–
14	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J. B. Petersen	–	C6	P, Ep	i	alf	–	k
Род <i>Fragilariforma</i> D. M. Williams & Round 1988								
15	<i>Fragilariforma virescens</i> var. <i>capitata</i> (Østrup) Czarnecki	+	+	B	i	ind	st	a-a
16	<i>Fragilariforma virescens</i> var. <i>elliptica</i> (Hustedt) Aboal	+	C6	B	i	neu	–	b
17	<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D. M. Williams & Round	C6	+	P-B	i	neu	st	k
Род <i>Odontidium</i> Kützing 1844								
18	<i>Odontidium mesodon</i> (Kützing) Kützing	–	+	P-B	–	–	–	k
Род <i>Staurosira</i> Ehrenberg 1843								
19	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
20	<i>Staurosira incerta</i> E. Morales	+	C6	P-B	i	alf	st-str	k
21	<i>Staurosira pseudoconstruens</i> (Marciniak) Lange-Bertalot	+	+	P-B	–	–	–	b
22	<i>Staurosira</i> sp.	+	–	–	–	–	–	–
23	<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J. D. Möller	C6	Д, C6	B	i	alf	–	k
Род <i>Staurosirella</i> D. M. Williams & Round 1987								
24	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams & Round	Д, C6	Д, C6	B	hl	alf	st-str	k
Род <i>Pseudostaurosira</i> D. M. Williams & Round 1988								
25	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) D. M. Williams & Round	C6	+	P-B	i	alf	st-str	k
26	<i>Pseudostaurosira elliptica</i> (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding	Д, C6	C6	B	i	alf	str	k
27	<i>Pseudostaurosira robusta</i> (Fusey) D. M. Williams & Round	–	+	–	–	–	–	–

	1	2	3	4	5	6	7	8
28	<i>Pseudostaurosira subconstricta</i> (Grunow) Kulikovskiy & Genkal Род <i>Hannaea</i> R. M. Patrick, 1966	-	+	Ep	i	alf	st-str	k
29	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R. M. Patrick Семейство Ulnariaceae Род <i>Ulnaria</i> Compère 2001	+	-	B	i	alf	str	a-a
30	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	+	+	P	i	alb	st-str	k
31	<i>Ulnaria</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-
32	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère Семейство Tabellariaceae Род <i>Tabellaria</i> Ehrenberg 1844	C6	Д, C6	P-B	i	alf	st-str	k
33	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+	Д, C6	P-B	hb	neu	st-str	k
34	<i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>geniculata</i> A. Cleve	-	+	P	hb	-	-	b
35	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	-	+	P-B	hb	acf	st-str	k
36	<i>Tabellaria quadrisepata</i> B. M. Knudson Род <i>Meridion</i> C. Agardh 1824	+	+	-	hb	acf	str	-
37	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh	-	+	B	i	alf	str	k
38	<i>Meridion constrictum</i> Ralfs Порядок Raphales Семейство Mastogloiaceae Род <i>Aneumastus</i> D. G. Mann & A. J. Stickle 1990	-	+	P-B	hb	alf	st-str	k
39	<i>Aneumastus tusculus</i> (Ehrenberg) D. G. Mann & A. J. Stickle Семейство Anomoeoneidaceae Род <i>Anomoeoneis</i> Pfitzer 1871	+	-	B	hl	alf	-	-
40	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> Pfitzer Семейство Pleurosigmataceae Род <i>Gyrosigma</i> Hassall 1845	+	-	P-B	hl	alb	st-str	k
41	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst Семейство Naviculaceae Род <i>Caloneis</i> Cleve 1894	+	+	B	i	alf	st-str	k
42	<i>Caloneis limosa</i> (Kützing) R. M. Patrick Род <i>Cavinulaceae</i>	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
43	<i>Cavinula pseudoscutiformis</i> (Hustedt) D. G. Mann & Stickle Род <i>Haslea</i> Simonsen 1974	-	+	B	i	acf	-	k
44	<i>Haslea spicula</i> (Hickie) Bukhtiyarova Род <i>Hippodonta</i> Lange-Bertalot, Witkowski & Metzeltin 1996	+	+	B	hl	-	-	-
45	<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski Род <i>Navicula</i> Bory 1822	-	+	B	hl	alf	st-str	k
46	<i>Navicula crucicula</i> var. <i>obtusata</i> Grunow	+	-	B	mh	-	-	-
47	<i>Navicula lanceolata</i> var. <i>tenuirostris</i> Skvortsov	-	+	B	i	alf	-	b
48	<i>Navicula menisculus</i> Schumann	+	+	B	i	alf	-	k
49	<i>Navicula oblonga</i> (Kützing) Kützing	+	+	B	i	alf	st-str	k
50	<i>Navicula peregrina</i> var. <i>lanceolata</i> Skvortsov	-	+	B	i	-	-	b
51	<i>Navicula phyllepta</i> Kützing	+	-	B	hl	-	-	k
52	<i>Navicula radiosa</i> Kützing	C6	+	B	i	ind	st-str	k
53	<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	+	+	B	hl	alf	-	k
54	<i>Navicula schroeteri</i> F. Meister	+	-	B	i	alf	st-str	k
55	<i>Navicula</i> spp.	+	+	-	-	-	-	-
56	<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot Семейство Diploneidaceae Род <i>Diploneis</i> Ehrenberg 1844	+	+	B	i	alf	st-str	k

1	2	3	4	5	6	7	8	
57	<i>Diploneis boldtiana</i> Cleve	–	+	P	i	ind	st-str	Ha
58	<i>Diploneis finnica</i> (Ehrenberg) Cleve	–	+	B	i	acf	–	a-a
59	<i>Diploneis parva</i> Cleve	+	+	B	i	alf	–	Ha
60	<i>Diploneis subovalis</i> Cleve Семейство Neidiaceae Род <i>Neidium</i> Pfitzer 1871	–	+	B	I	ind	st-str	k
61	<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve Род <i>Neidiomorpha</i> Lange-Bertalot & Cantonati 2010	+	+	B	i	alf	str	k
62	<i>Neidiomorpha binodiformis</i> (Krammer) M. Cantonati, Lange-Bertalot & N. Angeli Семейство Sellaphoraceae Род <i>Sellaphora</i> Mereschk 1902	+	–	B	–	–	–	–
63	<i>Sellaphora laevissima</i> (Kützing) D. G. Mann	–	+	B	hl	ind	st	k
64	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	+	+	B	hl	ind	st	k
65	<i>Sellaphora</i> sp. Род <i>Fallacia</i> Stickle & D. G. Mann	+	+	–	–	–	–	–
66	<i>Fallacia forcipata</i> (Greville) Stickle & D. G. Mann Семейство Pinnulariaceae Род <i>Pinnularia</i> Ehrenberg 1843	+	–	B	hl	alf	–	b
67	<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	+	+	B	i	ind	ae	k
68	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>minor</i> Schirshoff	+	+	B	i	ind	–	b
69	<i>Pinnularia borealis</i> var. <i>rectangularis</i> G. W. F. Carlson	+	–	B	oh	–	–	–
70	<i>Pinnularia cardinaliculus</i> Cleve	+	–	–	–	–	–	–
71	<i>Pinnularia cardinalis</i> (Ehrenberg) W. Smith	+	+	B	hl	acf	–	–
72	<i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	+	B	i	ind	st-str	b
73	<i>Pinnularia karelica</i> Cleve	+	–	B	i	ind	–	a-a
74	<i>Pinnularia lagerstedtii</i> (Cleve) A. Cleve	+	+	B	hb	neu	ae	–
75	<i>Pinnularia nobilis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	+	B	i	acf	str	b
76	<i>Pinnularia nodosa</i> (Ehrenberg) W. Smith	+	–	B	i	ind	str	a-a
77	<i>Pinnularia</i> spp.	+	+	–	–	–	–	–
78	<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg Семейство Stauroneidaceae Род <i>Stauroneis</i> Ehrenberg 1843	+	–	P-B	i	ind	st-str	k
79	<i>Stauroneis acuta</i> f. <i>inflata</i> (Frenguelli) Hustedt	+	+	B	i	alf	st-str	k
80	<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	+	+	B	i	ind	st-str	k
81	<i>Stauroneis siberica</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Krammer	+	–	B	i	ind	st-str	k
82	<i>Stauroneis smithii</i> Grunow Семейство Rhoicospheniaceae Род <i>Rhoicosphenia</i> Grunow 1860	–	+	P-B	i	alf	st-str	k
83	<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow Семейство Eunotiaceae Род <i>Eunotia</i> Ehrenberg 1837	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
84	<i>Eunotia arcubus</i> var. <i>bidens</i> (Grunow) Lange-Bertalot	–	+	B	i	alf	–	k
85	<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg	+	–	B	i	acf	–	k
86	<i>Eunotia bidens</i> Ehrenberg	+	+	B	i	alf	–	k
87	<i>Eunotia curtagrunowii</i> Nörpel-Schempp & Lange-Bertalot	+	+	B	–	acf	–	k
88	<i>Eunotia incisa</i> W. Smith ex W. Gregory	–	+	B	i	acf	–	k
89	<i>Eunotia mucophila</i> (Lange-Bertalot, Nörpel-Schempp & Alles) Lange-Bertalot	+	+	B	–	acf	st-str	–
90	<i>Eunotia praeerupta</i> Ehrenberg	+	–	B	hb	acf	st-str	k
91	<i>Eunotia</i> sp. Семейство Cymbellaceae Род <i>Cymbella</i> Agardh 1830	+	–	–	–	–	–	–
92	<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) O. Kirchner	+	–	B	i	alf	st-str	k
93	<i>Cymbella proxima</i> Reimer	+	+	B	hb	–	–	–

	1	2	3	4	5	6	7	8
94	<i>Cymbella</i> sp. Род <i>Cymbellafalsa</i> Lange-Bertalot & Metzeltin 2009	+	-	-	-	-	-	-
95	<i>Cymbellafalsa diluviana</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Metzeltin Род <i>Cymbopleura</i> (Krammer) Krammer 1997	-	+	B	i	alf	-	k
96	<i>Cymbopleura subcuspidata</i> (Kützing) Krammer Род <i>Encyonema</i> Kützing (1833)	-	+	B	i	acf	str	a-a
97	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D. G. Mann Род <i>Placoneis</i> Mereschkovsky 1903	+	+	B	i	ind	st-str	k
98	<i>Placoneis amphibola</i> (Cleve) E. J. Cox	+	-	B	i	ind	str	a-a
99	<i>Placoneis elginensis</i> (W. Gregory) E. J. Cox	+	-	B	i	ind	str	k
100	<i>Placoneis explanata</i> (Hustedt) A. Mamaya	+	+	B	i	ind	-	k
101	<i>Placoneis gastrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky Семейство Achnanthidiaceae Род <i>Achnanthidium</i> Kützing 1844	-	+	B	i	ind	st-str	k
102	<i>Achnanthidium lineare</i> W. Smith	+	-	B	i	ind	-	k
103	<i>Achnanthidium</i> sp. Род <i>Achnanthes</i> Bory 1822	-	+	-	-	-	-	-
104	<i>Achnanthes</i> sp. Род <i>Karayevia</i> Round & L. Bukhtiyarova 1996	+	-	-	-	-	-	-
105	<i>Karayevia carissima</i> (Lange-Bertalot) Bukhtiyarova Род <i>Planothidium</i> Round & Bukhtiyarova 1996	+	-	B	-	acf	m	-
106	<i>Planothidium ellipticum</i> (Cleve) M. B. Edlund	+	+	B	i	alf	str	k
107	<i>Planothidium granum</i> (M. H. Hohn & Hellerman) Lange-Bertalot	+	-	B	hb	acf	st-str	-
108	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot Род <i>Platessa</i> Lange-Bertalot 2004	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
109	<i>Platessa holsatica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot Род <i>Psammothidium</i> L. Buhtkiyarova & Round 1996	+	+	B	-	-	-	-
110	<i>Psammothidium ventrale</i> (Krasske) Bukhtiyarova & Round Семейство Cocconeidaceae Род <i>Cocconeis</i> Ehrenberg 1838	-	+	B	hb	acf	str	-
111	<i>Cocconeis disculus</i> (Schumann) Cleve	+	-	B	i	alf	st	k
112	<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	-	Д	P-B	i	alf	st-str	k
113	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	-	+	B	i	alf	st-str	k
114	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
115	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow Семейство Gomphonemataceae Род <i>Gomphonema</i> Ehrenberg 1824	С6	С6	P-B	i	alf	st-str	k
116	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	+	+	P-B	i	alf	st	k
117	<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>lineare</i> Hustedt	+	+	B	i	ind	-	b
118	<i>Gomphonema brebissonii</i> Kützing	+	+	P-B	i	alf	st	k
119	<i>Gomphonema coronatum</i> Ehrenberg	-	+	B	-	-	-	-
120	<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	+	+	P-B	i	ind	st-str	k
121	<i>Gomphonema helveticum</i> Brun	-	+	B	i	ind	-	b
122	<i>Gomphonema minutum</i> (C. Agardh) C. Agardh	-	+	B	oh	alf	-	k
123	<i>Gomphonema productum</i> (Grunow) Lange-Bertalot & E. Reichardt	-	+	B	i	alf	str	k
124	<i>Gomphonema pusillum</i> (Grunow) Kulikovskiy & Kociolek	+	+	B	oh	alf	-	k
125	<i>Gomphonema trigonocephalum</i> Ehrenberg	+	-	P-B	i	alf	st	k
126	<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg Семейство Catenulaceae Род <i>Amphora</i> Ehrenberg 1840	-	+	P-B	i	alf	st-str	k
127	<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg	+	+	B	hl	alf	-	k

	1	2	3	4	5	6	7	8
128	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing Семейство Bacillariaceae Род <i>Grunowia</i> Rabenhorst 1864	+	+	B	i	alf	st-str	k
129	<i>Grunowia tabellaria</i> (Grunow) Rabenhorst Род <i>Hantzschia</i> Grunow 1877	+	–	B	i	ind	str	k
130	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	+	+	B	i	neu	st-str	k
131	<i>Hantzschia spectabilis</i> (Ehrenberg) Hustedt Род <i>Nitzschia</i> Hassal 1845	+	–	B	hl	neu	–	–
132	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	+	–	P-B, S	i	alf	st-str	k
133	<i>Nitzschia behrei</i> Hustedt	+	–					
134	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith	+	+	P-B	i	alf	st-str	k
135	<i>Nitzschia</i> spp.	+	+	–	–	–	–	–
136	<i>Nitzschia brevissima</i> Grunow Род <i>Tryblionella</i> W. Smith 1853	+	–	–	hl	neu	st-str	–
137	<i>Tryblionella angustata</i> W. Smith Семейство Surirellaceae Род <i>Campylodiscus</i> Ehrenberg 1840	+	–	B	–	–	–	–
138	<i>Campylodiscus hibernicus</i> Ehrenberg Род <i>Cumatopleura</i> W. Smith 1851	+	–	B	i	ind	–	b
139	<i>Cumatopleura brunii</i> Petit Род <i>Iconella</i> Jurilj 1949	–	+	B	i	ind	–	b
140	<i>Iconella bifrons</i> (Ehrenberg) Ruck & Nakov	+	+	P-B	i	ind	st	k
141	<i>Iconella tenera</i> (W. Gregory) Ruck & Nakov Род <i>Surirella</i> Turpin 1828	+	+	P-B	i	alf	st	k
142	<i>Surirella angusta</i> Kützing	+	–	P-B	i	alf	st-str	k
143	<i>Surirella hibernica</i> (W. Smith) D. Kapustin & O. Kryvosheia	+	+	P-B	i	alf	st-str	Ha, Pt
144	<i>Surirella librile</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	+	P-B	i	alf	–	k
145	<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	–	+	P-B	hb	ind	st-str	k
146	<i>Surirella</i> sp. Семейство Rhopalodiaceae Род <i>Epithemia</i> Kützing 1844	+	+	–	–	–	–	–
147	<i>Epithemia adnata</i> var. <i>saxonica</i> (Kützing) R. M. Patrick	+	+	B	i	alb	st	k
148	<i>Epithemia frickei</i> Krammer	+	+	P-B	i	ind	–	k
149	<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenberg) Kützing	Д, Сб	+	B	i	alb	–	k
150	<i>Epithemia porcellus</i> Kützing	+	+	B	i	alb	–	k
151	<i>Epithemia sorex</i> Kützing	+	+	B	i	alf	st	k
152	<i>Epithemia</i> spp.	+	+	–	–	–	–	–
153	<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+	B	i	alf	st	k
154	<i>Epithemia turgida</i> var. <i>granulata</i> (Ehrenberg) Brun	+	+	B	hl	i	st	b
155	<i>Epithemia turgida</i> var. <i>westermanni</i> (Ehrenberg) Grunow Род <i>Rhopalodia</i> O. Müller 1895	–	+	B	i	–	–	b
156	<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O. Müller	+	–	P-B, S	mh	alb	–	k
	Всего:	115	119					

П р и м е ч а н и е. Хаб – местообитания: В – бентосные виды, P-B – планктонно-бентосные, P – планктонные, S – почвенные, Ер – эпибионты; Hal – соленость: hb – галофобы, hl – галофилы, i – индифференты, oh – объединяющиеся в группу олигогалобов, mh – мезогалобы; pH – водородный показатель воды (pH воды): acf – ацидофилы, ind – индифференты, neu – нейтрофилы, alf – алкалофилы, alb – алкалобионты; Reo – подвижность водных масс и кислород: st – виды, предпочитающие стоячие воды, str – виды, предпочитающие текущие воды, st-str – индифференты или виды, предпочитающие воды умеренной текучести, ae – аэрофилы; Geo – географическая приуроченность: k – космополит; a-a – арктоальпийский, a, k – арктический, космополитный, b – бореальный, Ha – голарктический, Pt – палеотропический. Прочерк – нет данных; Д – вид-доминант, Сб – вид-субдоминант.

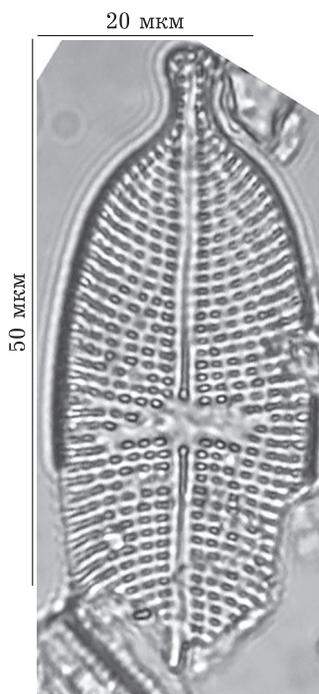


Рис. 2. Створка диатомовой водоросли вида *Aneumastus tusculus* из донных отложений оз. Чеко

В донных осадках преобладают створки бентосных космополитных видов, индифферентных по отношению к солености и скорости течения, предпочитающие щелочную реакцию воды (рис. 3).

В верхней части керна, полученного из оз. Чеко с помощью кластерного анализа, можно выделить три периода (Distance) – три зоны, сопровождавшиеся изменениями в сообществах диатомовых водорослей.

Зона DI. Глубина 5–3 см (≈2004–2010 гг.). Отмечается относительно большая доля створок планктонных (*Aulacoseira subarctica*, *A. valida*, *Lindavia lemanensis* – 2,6–3,6 % от общего числа створок) и планктонно-бентосных видов (26,4–28,2 % от общего числа створок, с субдоминантом *Ulnaria ulna*), в том числе алкалифилов (к концу периода увеличивается доля *Pseudostaurosira brevistriata*). С тенденцией к уменьшению зафиксированы большие доли створок бентосных алкалибионтных (с доминантом *Epithemia gibba*) и с тенденцией к увеличению доли бентосных алкалифильных видов (с доминантом *Pseudostaurosira elliptica* и субдоминантом *Staurosira venter*) до 53,55–53,77 % от общего числа створок (см. рис. 3).

Зона DII. Глубина 3–2 см (≈2010 гг.). Происходит резкое снижение доли створок планктонных диатомовых (>1 % от общего числа створок) за счет уменьшения доли алкалибионтов арктоальпийского вида (*Aulacoseira subarctica*, *A. valida*). Фиксируется уменьшение доли планктонно-бентосных (20,55 % от общего числа створок) и увеличение доли бентосных видов (56,16 % от общего числа створок). Отмечается рост доли створок бентосных видов-ацидофилов галофилов (комплекс видов *Eunotia praerupta sensu lato*, особенно *Eunotia curtagrunowii*). Уменьшается доля бентосных алкалибионтов (*Epithemia porcellus*, переход в субдоминанты *Epithemia gibba*) и увеличивается планктонно-бентосных нейтрофилов (субдоминирует *Fragilariforma virescens*). Существенно снижается доля бентосных алкалифилов (*Pseudostaurosira elliptica*, *Staurosira venter*). При этом увеличивается доля бентосных алкалифильных галофилов стоячих (*Epithemia turgida* var. *granulata*) и стояче-текучих вод (доминант *Staurosirella pinnata*) вод (см. рис. 3).

Зона DIII. Глубина 2–0 см (≈2010–2016 гг.). Происходит постепенное увеличение доли створок планктонных диатомовых (от 2,36 до 3,13 %) за счет прироста доли арктоальпийских и альпийских видов (*Aulacoseira subarctica*, *A. valida*). Отмечается увеличение доли планктонно-бентосных видов (от 19,69 до 22,88 % от общего числа створок). На данном этапе максимальных значений достигает доля планктонно-бентосных видов стоячих (субдоминант *Fragilariforma virescens*) и стояче-текучих вод (субдоминант *Pseudostaurosira brevistriata*) с последующим спадом. За счет уменьшения доли видов алкалифилов стояче-текучих (*Gyrosigma acuminatum*) и ацидофилов проточных вод (*Pinnularia nobilis*) снижается доля бентосных видов с достигнутых максимальных значений до минимальных (от 62,6 до 51,37 % от общего числа створок). Сначала увеличивается, а затем снижается доля створок бентосных алкалибионтов (с доминантом *Epithemia gibba*). Увеличивается доля алкалифилов (субдоминант *Staurosira venter*), алкалифильных галофилов стояче-текучих (с субдоминированием *Staurosirella pinnata*) и алкалифилов проточных вод (доминант *Pseudostaurosira elliptica*) (см. рис. 3).

Озеро Заповедное

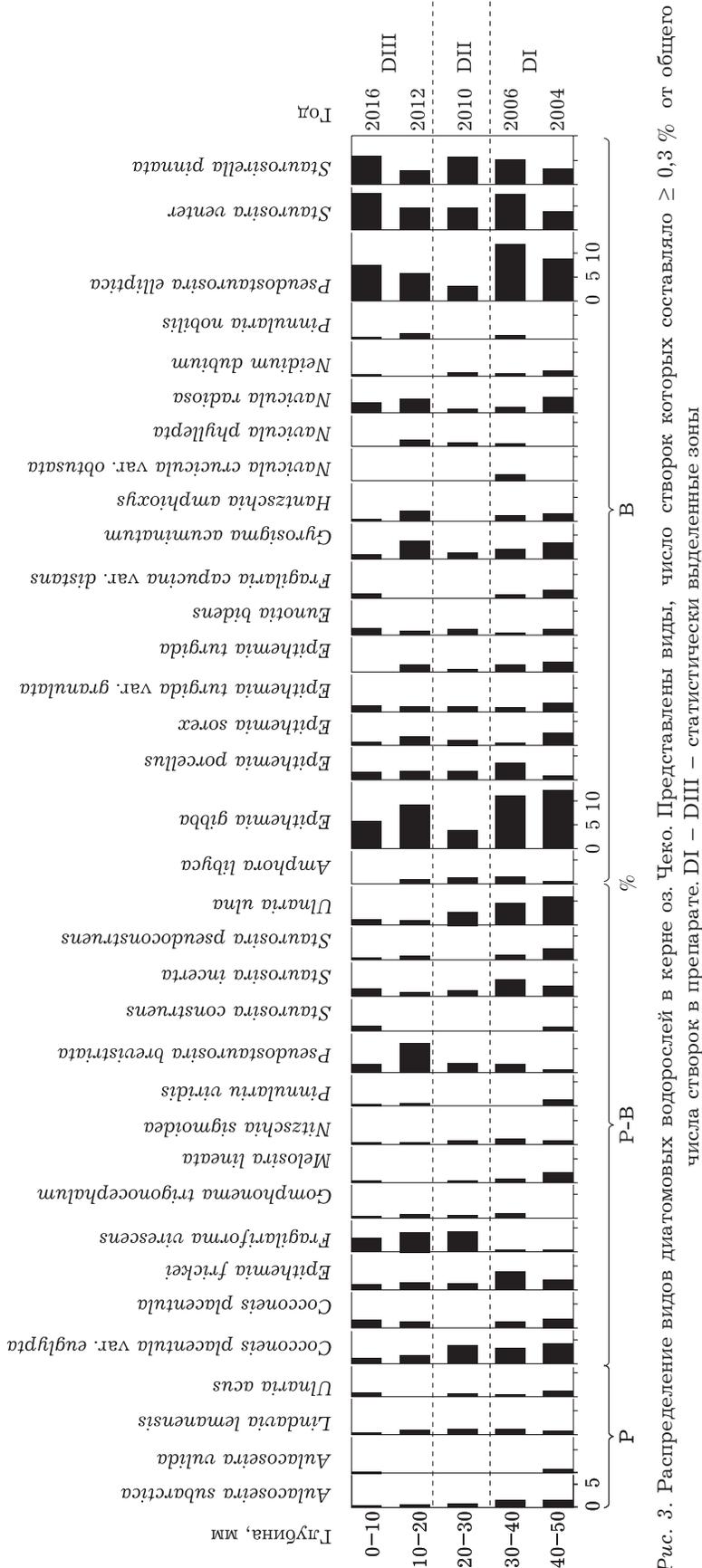


Рис. 3. Распределение видов диатомовых водорослей в керне оз. Чеко. Представлены виды, число створок которых составляло $\geq 0,3\%$ от общего числа створок в препарате. DI – DIII – статистически выделенные зоны

Видовой состав диатомовых водорослей современных донных осадков оз. Заповедное очень богат и насчитывает 119 таксонов рангом ниже рода (см. таблицу).

В донных осадках преобладают створки планктонно-бентосных космополитных видов, индифферентных по отношению к солености и скорости течения, предпочитающие щелочную реакцию воды (рис. 4). Особенностью диатомовой флоры донных отложений озера является хорошая представленность створок видов из рода *Tabellaria*.

В верхней части керна, полученного из оз. Заповедное, с помощью кластерного анализа можно также выделить три зоны, сопровождавшиеся изменениями в сообществах диатомовых водорослей.

Зона DI. Глубина 5–2 см (≈1989–2006 гг.). Отмечается увеличение доли створок планктонных (с 8,5 до 13,5 % от общего числа створок, субдоминант *Fragilaria vaucheriae*, встречаются *Aulacoseira subarctica*, *A. valida*, *Lindavia lemanensis*) и планктонно-бентосных видов (с 26 до 40,24 % от общего числа створок, доминирует *Ulnaria ulna*, субдоминирует *Tabellaria fenestrata*). Происходит колебание доли створок бентосных алкалифильных видов стояче-текучих (доминант → субдоминант → доминант, *Stauroneis pinnata* и *Stauroneis venter*) и снижение доли створок видов стоячих вод (*Sellaphora pupula*). Отмечается рост доли створок галофобных (*Meridion constrictum*, *Tabellaria quadriseptata*, *T. fenestrata* var.

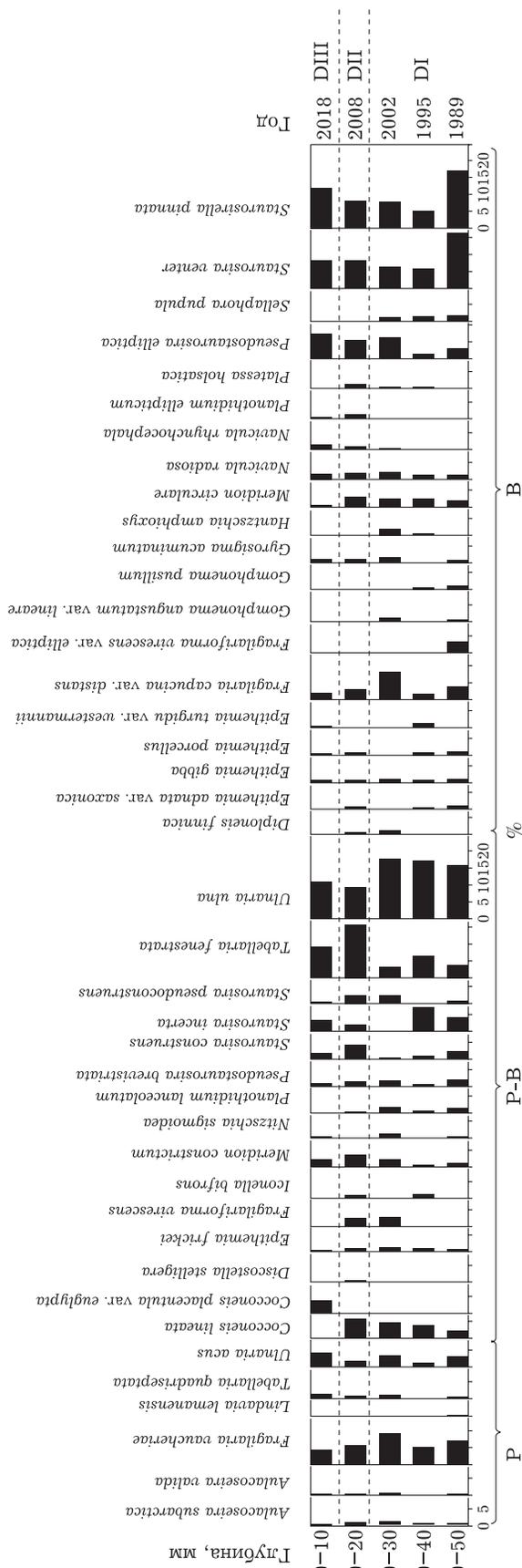


Рис. 4. Вертикальное распределение диатомовых водорослей в современных донных отложениях оз. Заповедное. Представлены виды, число створок которых составляло $\geq 0,3$ % от общего числа створок в препарате. DI – DII – статистически выделенные зоны. P; P-B; B – см. таблицу

geniculata), а также ацидофильных (*Eunotia mucophila*, *Tabellaria quadriseptata*, *Pinnularia nobilis*) видов стояче-текучих и проточных вод. Происходит увеличение доли створок бореальных (*Gomphonema angustatum* var. *lineare*, *Stauroneis pseudoconstruens*, *Navicula peregrina* var. *lanceolata*, *Pinnularia nobilis*), арктических космополитов (*Aulacoseira subarctica*) и аркто-альпийских (*A. valida*, *Diploneis finnica*) видов диатомовых.

Зона DII. Глубина 2–1 см (≈2006–2012 гг.). Происходит значительное снижение (до 1,46 % от общего числа створок) доли створок планктонных видов алкалифилов (*Fragilaria vaucheriae*) и алкалибионтов (*Aulacoseira subarctica*, *Ulnaria acus*) стояче-текучих вод. Снижается доля алкалифильных планктонно-бентосных (субдоминант *Ulnaria ulna*) и бентосных (особенно субдоминант *Stauroneis pinnata*) видов стояче-текучих вод.

За счет появления планктонно-бентосного космополита стоячих вод *Discostella stelligera* и роста доли галофобных видов (*Meridion constrictum*, *T. flocculosa* и доминант *Tabellaria fenestrata*) происходит значительный общий рост доли створок планктонно-бентосных диатомовых (до 42,4 % от общего числа створок).

Отмечается снижение доли створок бентосных галофилов (*Sellaphora laevisima*, *S. pupula*, субдоминант *Stauroneis pinnata*) и алкалибионтов (*Epithemia gibba*, *E. porcellus*).

Зона DIII. Глубина 1–0 см (≈2012–2018 гг.). Происходит небольшой общий рост (до 10 % от общего числа створок) доли створок планктонных видов (за счет увеличения доли космополита стояче-текучих вод *Ulnaria acus*). Из-за большого снижения доли створок галофобов стояче-текучих (субдоминант *Tabellaria fenestrata*) и диатомовых стоячих вод (*Discostella stelligera*, *Iconella bifrons*, *Fragilariforma virescens*) существенно снижается общая доля планктонно-бентосных видов (до 26 % от общего числа створок). Увеличивается доля планктонно-бентосных (доминант *Ulnaria ulna*) и бентосных (субдоминант *Pseudostau-*

rosira elliptica) алкалифилов проточных вод. Повышается доля галофилов (*Navicula rhy-nchocephala*, доминант *Staurosirella pinnata*) стояче-текучих вод.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал наличие общих тенденций в развитии озер Чеко и Заповедное. Озера, сходные по морфометрическим и гидрологическим показателям, располагающиеся на одной территории водосбора, обладают видовым богатством диатомовой флоры с высоким индексом сходства. В истории двух озер, восстановленной по диатомовым водорослям, совпадали периоды изменения уровня воды, минерализации, pH.

Зона DI. Первое отмеченное нами повышение уровня воды и минерализации (рис. 5) пришлось на временной промежуток, приблизительно с 1989 по 2006–2008 гг. В оз. Заповедное предположительно происходило некоторое колебание уровня воды и минерализации в сторону повышения, а в оз. Чеко был относительно высокий уровень воды. Именно в этот период в двух озерах отмечались высокие доли створок одних и тех же планктонных видов, а именно *Aulacoseira subarctica*, *A. valida*, *Lindavia lemanensis*.

Сопоставление этих явлений с метеорологическими данными, полученными с метеостанции Ванавара, показывает, что в период с 1989 по 2008 г. регистрировались самые высокие июльские температуры воздуха – от +19 до +20,3 °C и самые большие за период наблюдения максимальные суточные суммы выпавших осадков за год (от 22 до 62 мм в год). Именно эти факторы способствовали большому развитию видов рода *Aulacoseira*.

Известно, что *Aulacoseira subarctica* – холодолюбивый, олигомезотрофный вид, широко распространенный в крупных и малых водоемах умеренных, субарктических и арктических широт [Лудикова и др., 2021]. С увеличением количества выпавших осадков, а также возможным таянием вечной мерзлоты увеличивался расход воды в реках Кимчу и Верхняя Лакура, росло перемешивание озерной воды, создавались лучшие условия для развития планктонных видов. Известно, что развитию *A. subarctica*, как и других диатомовых рода *Aulacoseira*, благоприятству-

ет постоянное перемешивание водной толщи, позволяющее им удерживаться в фотической зоне [Лудикова и др., 2021].

Зона DII. Во временной промежуток, приуроченный, примерно, с 2006 по 2012 г. в озерах отмечается снижение доли створок планктонных и планктонно-бентосных видов алкалифилов и алкалибионтов, сопровождающееся увеличением доли створок бентосных и планктонно-бентосных видов-ацидофилов и галофобов. В этот период в оз. Чеко самая высокая в керне доля створок арктоальпийских (субдоминант *Fragilariforma virescens*) и бореальных (*Epithemia turgida var. granulata*) видов. В оз. Заповедное наблюдалось появление планктонно-бентосного вида стоячих вод *Discostella stelligera*, а также максимальная доля планктонно-бентосного вида *Tabel-laria fenestrata* (доминант), который может вести себя и как планктонный вид, но при определенных условиях становится видо-образателем, прикрепляясь к растительному или твердому субстрату [Knudson, 1952; Корпен, 1975].

Замена видов рода *Aulacoseira* на представителей *Cyclotella sensu lato*, в частности на бореальный вид *Discostella stelligera*, отмечалась для озер Канады, расположенных в центральной канадской арктической лесной области (координаты 62°32,72' с. ш., 114°07,13' з. д.) [Rühland et al., 2003], на одной широте с исследуемыми озерами Центрально-Тунгусского плато. Также вид *Discostella stelligera*, как и все представители *Cyclotella sensu lato*, хорошо реагирует на увеличение концентрации биогенных веществ и способен к массовому развитию в эвтрофных озерах [Трифоновна, 1990]. Сопоставление выявленных тенденций с метеорологическими параметрами позволили выявить в указанный период похолодание со снижением среднегодовых температур до минус 3,4 °C и уменьшение годовых сумм выпавших осадков до 18 мм в год. Все это способствовало понижению уровня воды в озерах и ускорению процессов заболачивания, особенно в менее проточном оз. Заповедное.

Зона DIII. Третий период данных изменений охватывает временной промежуток с 2012 по 2018 г. В озерах отмечается небольшой рост доли створок планктонных и планктонно-бентосных видов алкалифилов. Фиксируется увеличение доли видов проточных

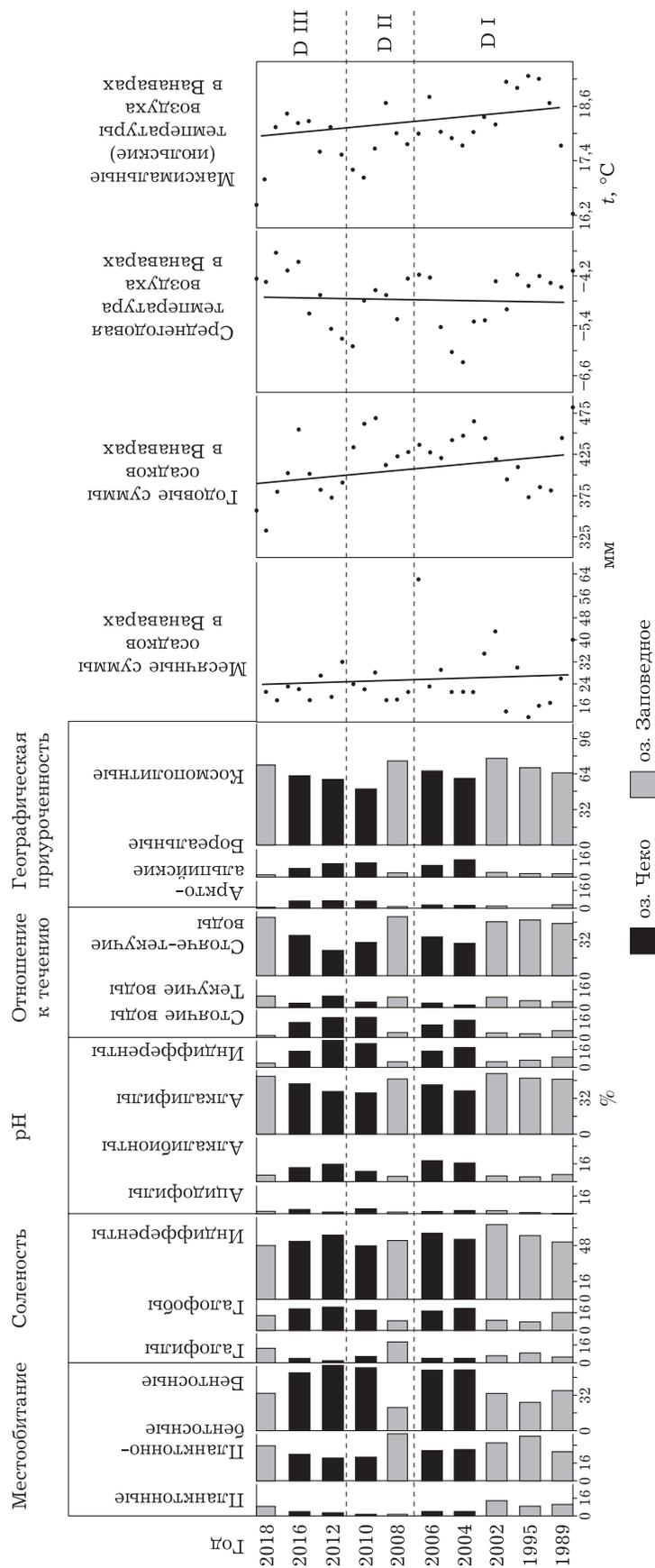


Рис. 5. Стратиграфическая диаграмма диатомовых водорослей по местообитанию, солёности, отношению к течению и географической приуроченности в донных отложениях озер Чеко и Заповедное. Изменения в уровне максимальных суточных и годичных температур, а также максимальных суточных и годовых сумм осадков. D I – D III – статистически выделенные зоны с приближительно границами изменений, происшедших в видовом составе диатомовых водорослей озер Чеко и Заповедное

вод и видов-галофилов среди бентосных видов, при этом общая доля последних в озере существенно снижается. Вероятно, все вышеуказанное является следствием повышения уровня воды и некоторого увеличения уровня минерализации. В указанный период замечен рост максимальных суточных сумм выпавших осадков (с 21 до 31 мм в год) и максимальных температур воздуха (с +15 до +19 °С), что, скорее всего, привело к изменениям, схожим с теми, которые происходили во временной промежутке, описанный в Зоне D1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диатомовые современных донных отложений малых проточных озер Чеко и Заповедное (Центрально-Тунгусское плато, Эвенкия) отличаются видовым богатством и высокой степенью сходства. На данном этапе развитие диатомовых этих озер происходит по общим тенденциям в зависимости от метеорологических показателей региона проведения исследований. Также наблюдаемые изменения в исследованных озерах, сходных по географическим, экологическим и физико-химическим характеристикам, демонстрируют общие в мире тенденции в изменении видового состава диатомовых водорослей вследствие климатических изменений. Полученные результаты являются ценными для палеоклиматических реконструкций и как характеристика современного состава диатомовых водорослей данного малоизученного региона.

Авторы выражают благодарность директору Государственного природного заповедника “Тунгусский” Валентине Николаевне Логуновой и заместителю директора Артуру Видмантасовичу Мейдусу за неоценимую помощь в организации полевых работ, а также сотрудникам заповедника Евгении Александровне Мороз и Олегу Валентиновичу Чернышеву за содействие в полевых работах по отборам кернов.

Авторы признательны коллегам из Института геологии и минералогии им. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) д. г.-м. н. Ивану Александровичу Калугину и к. г.-м. н. Андрею Викторовичу Дарьину за помощь в полевых работах, а также анонимному рецензенту за ценные замечания по улучшению содержания данной статьи.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 22-17-00185, <https://rscf.ru/en/project/22-17-00185>.

- Абакумов В. А., Бубнова Н. П., Холикова Н. И., Горидченко Т. П., Лиена Р. А., Свирская Н. Л., Ганьшина Л. А., Семин В. А., Хромов В. М., Никитин Д. И., Катанская В. М., Распопов И. М. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 240 с.
- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
- Генкал С. И., Куликовский М. С., Михеева Т. М., Кузнецова И. В., Лукьянова Е. В. Диатомовые водоросли планктона реки Свислочь и ее водохранилищ. М.: Научный мир, 2013. 236 с.
- Глезер З. И., Караева Н. И., Макарова И. В., Моисеева А. И., Николаев В. А. Классификация диатомовых водорослей / под ред. И. В. Макарова. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1988. Т. 2, вып. 1. С. 31–35.
- Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. С. 253.
- Дарьин А. В., Рогозин Д. Ю., Мейдус А. В., Бабич В. В., Калугин И. А., Маркович Т. И., Ракшун Я. В., Дарьин Ф. А., Сороколетов Д. С., Гогин А. А., Сенин Р. А., Дегерменджи А. Г. Следы Тунгусского события 1908 г. в донных осадках озера Заповедное по данным сканирующего РФА СИ // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 2. С. 61–65.
- Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Сов. наука, 1951. 619 с.
- Лудикова А. В., Баумер М., Федоров Г. Б., Меллес М. Палеолимнология оз. Большого щучьего (Полярный Урал) в позднем плейстоцене-голоцене по данным диатомового анализа // Материалы II Всерос. науч. конф. “Пути эволюции и географии”, посвящ. памяти проф. А. А. Величко. М., 2021. С. 202–206.
- Рогозин Д. Ю., Дарьин А. В., Калугин И. А., Мельгунов М. С., Мейдус А. В., Дегерменджи А. Г. Оценка скорости накопления донных отложений в озере Чеко (Эвенкия, Сибирь): новые сведения по проблеме Тунгусского феномена 1908 года // Докл. РАН. Науки о Земле. 2017. Т. 476, № 6. С. 685–687.
- Справочно-информационный портал “Погода и климат”. 2004–2022. <http://pogodaiklimat.ru>.
- Трифопова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.
- Bolobanshchikova G. N., Kulikovskiy M. S., Rogozin D. Yu. Diatoms in the bottom sediments of two closely located lakes in Khakassia // J. Siberian Federal University. Biol. 2018. N 11 (4). P. 321–332.
- Bolobanshchikova G. N., Rogozin D. Yu. Diatoms as biomarker in changes of the Lake Zapovednoye state (Evenkia, Russia). Proceedings of the 4th International Conference Palaeolimnology of Northern Eurasia // Limnol. and Freshwater Biol. 2020. Vol. 4. P. 577–578.
- Fedotov A. P., Vorobyeva S. V., Vershinin K. E., Nurgaliev D. K., Enushchenko I. V., Krapivina S. M., Tarakanova K. V., Ziborova G. A., Yassonov P. G., Borissov A. S. Climate changes in East Siberia (Russia) in the Holocene based on diatom, chironomid and pollen

- records from sediments of Lake Kotokel // *J. Paleolimnol.* 2012. N 47 (4). P. 617–630.
- Gasparini L., Alvisi F., Biasini G., Bonatti E., Longo G., Pipan M., Ravaoli M., Serra R. A possible impact crater for the 1908 Tunguska Event // *Terra Nova*. 2007. Vol. 19, N 4. P. 245–251.
- Gasparini L., Bonatti E., Albertazzi S., Forlani L., Accorsi C. A., Longo G., Ravaoli M., Alvisi F., Polonia A., Sacchetti F. Sediments from Lake Cheko (Siberia), a possible impact crater for the 1908 Tunguska Event // *Terra Nova*. 2009. Vol. 21, N 6. P. 489–494.
- Guiry M. D., Guiry G. M. 2021. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 11 May 2022.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4 (1). P. 1–9.
- Knudson B. M. The diatom genus *Tabellaria*. I. Taxonomy and morphology // *Annals of Botany*. 1952. N 16 (63). P. 421–440.
- Koppen J. D. A morphological and taxonomic consideration of *Tabellaria* (Bacillariophyceae) from the northcentral United States // *J. Phycol.* 1975. N 11. P. 236–244.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986–1991. Vol. 2 (1–4).
- Krivonogov S. K., Takahara H., Yamamuro M., Preis Y. I., Khazina I. V., Khazin L. B., Kuzmin Y. V., Safonova I. Y., Ignatova N. V. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: Evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2012. Vol. 331–332. P. 177–193.
- Kützing F. T. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Nordhausen, 1844. P. 152.
- Lange-Bertalot H. Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats. *Navicula sensu stricto*. 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*. *Frustulia*. A.R.G. Gantner Verlag. K. G., 2001. Vol. 2. P. 526.
- Nazarova L., Lüpfert H., Subetto D., Pestryakova L., Diekmann B. Holocene climate conditions in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje // *Quaternary International*. 2013. Vol. 290–291. P. 264–274.
- Rühland K., Priesnitz A., Smol J. P. Paleolimnological Evidence from Diatoms for Recent Environmental Changes in 50 Lakes across Canadian Arctic Treeline, Arctic, Antarctic, and Alpine Research // Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR), University of Colorado. 2003. Vol. 35 (1). P. 110–123.
- Sorensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons // *Biologiske Skrifter*. 1948. N 5. P. 1–34.
- Sryrykh L., Nazarova L., Herzs Schuh U., Subetto D., Grekov I. Reconstruction of Palaeoecological and Palaeoclimatic Conditions of the Holocene in the South of Taimyr Peninsula according to the Analysis of lake sediments // *Contemporary Problems of Ecology*. 2017. Vol. 10, N 3. P. 363–369.

Diatom complexes in modern bottom sediments of lakes of the Central Tunguska plateau, Evenkia

G. N. BOLOBANSHCHIKOVA¹, O. V. PALAGUSHKINA², D. Yu. ROGOZIN^{1, 3}

¹*Federal Research Center “Krasnoyarsk science Center” Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (KSC SB RAS, FRC KSC SB RAS) “Institute of Biophysics Siberian Branch of Russian Academy of Science” (IBP SB RAS) 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50*

²*Kazan (Volga Region) Federal University 420008, Kazan, Kremlevskaya str., 18*

³*Siberian Federal University 660041, Krasnoyarsk, Svobodny str., 79*

E-mail: galina.ibp@mail.ru, opalagushkina@mail.ru, rogozin@ibp.ru

For the first time the diatom complexes were investigated in the upper part of bottom sediments in the freshwater lakes Cheko and Zapovednoye, located in the taiga zone of the south of Evenkia on the territory of the Tungusky state reserve. There were found and identified 156 diatom taxa in two lakes, and their ecological preferences have been determinate. In the Lake Cheko the valves of *Aneumastus tusculus* (Ehrenberg)

D. G. Mann & A. J. Stickle was identified – this diatom officially described as a fossil. In the both lakes the similarities and differences in the diatom complexes have been revealed – it seems that the diatom complex of both lakes is similar to that for freshwater bodies of the world located at close latitudes in the taiga zone. Lake Cheko is distinguished by a smaller proportion of planktonic species, which is probably due to the greater flow of this lake. Also there is shown the dependence of the species composition of diatoms on the meteorological parameters of the environment (temperature and precipitation).

Key words: diatoms, bottom sediments, fossil, Evenkia, *Aneumastus tusculus*.