

Бессудова Анна Юрьевна
Bessudova Anna Yuryevna
младший научный сотрудник
junior scientist

Сороковикова Лариса Михайловна
Sorokovikova Larisa Mikhailovna
старший научный сотрудник
senior scientist

Букин Юрий Сергеевич
Bukin Yuri Sergeevich
старший научный сотрудник
senior scientist

Родионова Елена Владимировна
Rodionova Elena Vladimirovna
научный сотрудник
research scientist

Минаев Александр Викторович
Minaev Alexander Viktorovich
и.о. зав. отделом
a head of department, a.i.

Фирсова Алена Дмитриевна
Firsova Alena Dmitrievna
старший научный сотрудник
senior scientist

Томберг Ирина Викторовна
Tomberg Irina Viktorovna
старший научный сотрудник
senior scientist

Ходжер Тамара Викторовна
Khodzher Tamara Viktorovna
заведующая лабораторией, профессор
a head of laboratory, Prof.

Лихошвай Елена Валентиновна
Likhoshway Yelena Valentinivna
заведующая отделом, профессор
a head of department, Prof.

Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук
Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

ГИДРОХИМИЯ И АЛЬГОФЛОРА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР АРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА НИЖНЕГО ЕНИСЕЯ WATER CHEMISTRY AND ALGAL FLORA OF CRYOGENIC LAKES IN THE ARCTIC BASIN OF THE LOWER YENISEI RIVER

Аннотация на русском языке: Обсуждаются результаты комплексных исследований термокарстовых озер арктической части бассейна Нижнего Енисея. Пробы для гидрохимических и гидробиологических исследований отобраны в 7 озерах осенью 2009 г. Воды озер имеют низкую минерализацию (13,6–143 мг/л). Величина pH воды в озерах изменяется от нейтральной (6,79) до слабощелочной (8,4). Содержание растворенного кислорода высокое (11,3–13,1 мг/л). По содержанию биогенных элементов исследованные озера Нижнего Енисея относятся к олиготрофному типу, концентрации азота и фосфора не превышают десятых долей мг/л.

В исследованных озерах обнаружено 186 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей. Особенности альгофлоры планктона термокарстовых озер Нижнего Енисея является разнообразная, местами обильная флора чешуйчатых хризофитовых и низкое содержание диатомовых водорослей, что характерно для осеннего фитопланктона северных водоемов.

The summary in English: In this paper, we discuss results of our comprehensive studies of cryogenic lakes in the Arctic basin of the Lower Yenisei. 7 lakes were sampled for water chemistry and hydrobiology research in autumn 2009. The lakes are low mineralized (13.6–143 mg/L). Water pH varies from neutral (6.79) to weakly alkaline (8.4). Dissolved oxygen concentration is high (11.3–13.1 mg/L). By content of biogenic elements the lakes studied may be classified oligotrophic, the concentration of nitrogen and phosphorous do not exceed a tenth of mg/L.

We found in the lakes 186 species and intraspecific taxa of microalgae. A feature of the algal plankton of the cryogenic lake of the Lower Yenisei is a diverse and occasionally abundant flora of scaled chrysophytes, and a low content of diatoms characteristic for autumnal phytoplankton of the northern lakes.

Ключевые слова: бассейн Нижнего Енисея, термокарстовые озера, гидрохимия, фитопланктон, статистический анализ.

Keywords: basin of the Lower Yenisei, cryogenic lakes, water chemistry, phytoplankton, statistic analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Типичными элементами ландшафтов криолитозоны субарктики Западной Сибири, занимающими обширные пространства, являются термокарстовые озера – уникальные природные индикаторы климатических изменений [1, 2], которые на сегодняшний день слабо изучены из-за труднодоступности Арктических районов. Эти озера образованы в процессе вытаявания подземных льдов, сопровождаемого просадками поверхности и образованием замкнутых провальных форм рельефа, которые заполняются водой [3, 4, 5]. Химический состав вод термокарстовых озер определяется местом их расположения, условиями питания и уровнем антропогенной нагрузки на водосборы. Известно, что озера, расположенные в тундре и лесотундре преимущественно имеют низкую минерализацию в результате питания атмосферными осадками, расположением на устойчивых к химическому выветриванию геологических формациях, с тонким почвенным покровом и слаборазвитой растительностью [6]. Характерной особенностью химического состава вод озер арктической зоны, в том числе и

термокарстовых, является повышенное содержание органических веществ, а также низкие значения рН и биогенных элементов [6], за исключением части озер на территории Якутии, которые имеют повышенные значения величины рН воды [1]. Суровый климат и ограниченные ресурсы таких водоемов пригодны для жизни лишь небольшого числа видов фитопланктона, в связи с этим таксономический состав микроводорослей, обитающих в термокарстовых озерах субарктики Западной Сибири, вызывает дополнительный интерес. Наиболее подробно в пределах России особенности строения термокарстовых озер, их динамика и альгофлора изучены в Якутии [1, 4, 7–11], там основу фитопланктона составляют диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли [1]. Озера арктической части бассейна Нижнего Енисея расположены вдали от региональных источников загрязнения, однако на химический состав их вод и альгофлору могут влиять глобальные изменения окружающей среды, включая загрязнение атмосферы. В последние годы появилось мнение, что увеличению количества термокарстовых озер способствует потепление климата [12]. Об этом также свидетельствуют исследования, выполненные на севере Западной Сибири [13, 4]. В связи с этим необходим постоянный мониторинг состояния многолетнемерзлых пород, контроль за их возможной деградацией, которая может вызывать опасные геокриологические процессы [4]. Для дальнейшего сравнения реакции альгофлоры термокарстовых озер в условиях потепления климата необходимо подробно исследовать химический состав вод и микрофлору, о которых в настоящее время в пределах Нижнего Енисея мало сведений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб из термокарстовых озер (рис. 1) выполнен в сентябре 2009 г. в рамках программы Президиума РАН 20, подпрограммы «Комплексные исследования Арктического шельфа», проект 20.7. В 7 термокарстовых озерах отобрана 21 альгологическая проба и 7 проб для химического анализа. Пробы

отобраны в поверхностном горизонте. Определение катионов в тех же пробах выполнено атомно-абсорбционным и пламенно-эмиссионным методами [14]. Анионы определяли методом ВЭЖХ [15]. Определение биогенных элементов проведено колориметрическими методами [16].

Для определения качественного состава фитопланктона использовали планктонную сеть Джели (газ № 70), пробы фиксировали 70 % этанолом. Для определения количественных показателей пробы отбирали с помощью батометра объемом 1,3 л и фиксировали раствором Люголя, концентрировали с помощью сифона до объема 30-50 мл и проводили подсчет количества клеток в камере объемом 0,1 см³ [17] под световым микроскопом (Axiostar Plus, Ziss, Германия). Биомассу определяли по методике И.В. Макаровой и Л.О. Пичкилы [18]. Для определения мелкоклеточных диатомовых и чешуйчатых золотистых водорослей пробы собирали на фильтры диаметром 13 мм и с диаметром пор 1 мкм (Whatman, США), напыляли золотом и анализировали на сканирующем электронном микроскопе Philips SEM 525M (Голландия). Обилие золотистых водорослей оценивали по количеству обнаруженных на фильтре чешуек вида: очень редко от 2 до 25 чешуек, редко от 26 до 50, часто от 51 до 150, обильно более 150.

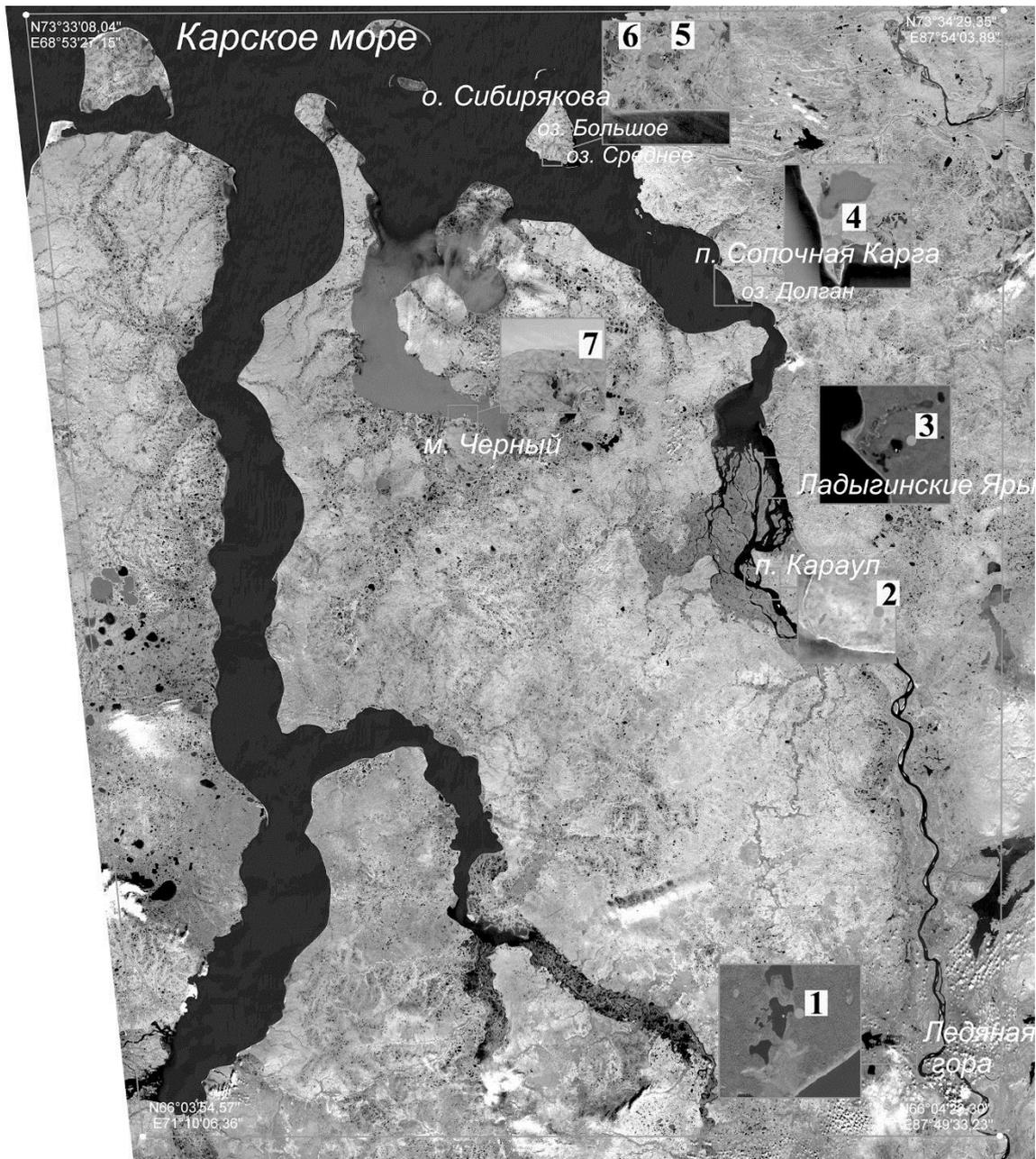


Рисунок 1. Карта-схема отбора проб

Названия таксонов приведены согласно базе данных AlgaeBase [19].

Для статистического анализа данных использовали многомерную статистику – кластерный анализ с применением дистанционного метода UPGMA [20]. Матрица дистанций для кластеризации точек сбора материала по видовому составу фитопланктона, была построена на основе бинарного расстояния. Дополнительно визуализация рассматриваемых массивов данных

проводилась преобразованием в двухмерном пространстве с помощью метода многомерного шкалирования [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав вод

Величина рН воды в исследованных озерах близка к нейтральной и слабощелочной. Озера хорошо аэрированы, концентрация кислорода достигает 13,1 мг/л (табл. 1). Аналогичные показатели рН и кислорода отмечены в термокарстовых озерах на территории Якутии [1], тогда как озера Кольского Севера характеризуются пониженными значениями рН [22]. Вода в исследованных нами озерах низкоминерализованная, максимальные значения суммы ионов отмечены в озере № 1 (расположенном вблизи Ледяной горы), наименьшие – в озере № 7 (м. Черный) (табл. 1). Абсолютные концентрации главных ионов и их относительное содержание в воде зависит от местоположения озер. Концентрация гидрокарбонатов изменяется от 16 до 108 мг/л (20,8-49,1 % экв.), хлоридов – от 0,2 до 14,0 мг/л (0,2-21,2 % экв.), сульфатов – от 0,5 до 5,4 мг/л (0,5-8,2 % экв.), кальция – от 3,0 до 20,3 мг/л (17,8-38,8 % экв.), магния – от 0,6 до 7,2 мг/л (11,2-18,6 % экв.), натрия – от 0,8 до 9,8 мг/л (2,4-18,9 % экв.), калия – от 0,1 до 1,2 мг/л (0,2-2,1 % экв.). Повышенные концентрации ионов и их сумма отмечены в самом южном озере № 1. При продвижении на север сумма ионов в озерах снижается и в озере № 2 (в районе п. Караул), 48,4 мг/л. Низкие значения минерализации наблюдаются в озере № 3 (Белые пески), расположенном в районе Ладыгинского Яра (см. табл. 1).

Таблица 1. Химический состав воды исследуемых термокарстовых озер

№ оз.	Дата отбора пробы	Координаты	Место нахождения	рН	Т, °С	О ₂ мг/л	Si мгSi /л	NH ₄ ⁺ мгN/л	NO ₂ ⁻ мкгN /л	PO ₄ ⁻³ мкгP /л	NO ₃ ⁻ мгN /л	Σ ионов, мг/л
1	28.08.09	66°35'57,45" N 86°34'21,89" E	Ледяная гора	8,40	—	—	0,98	0,06	0,1	8	0,08	143

№ оз.	Дата отбора пробы	Координаты	Место нахождения	pH	T, °C	O ₂ мг/л	Si мгSi /л	NH ₄ ⁺ мгN/л	NO ₂ ⁻ мкгN /л	PO ₄ ⁻³ мкгP /л	NO ₃ ⁻ мгN /л	Σ ионов, мг/л
2	19.09.09	70°04'38,18" N 83°14'13,30" E	п. Караул	7,47	6,9	11,9	0,66	0,03	1	12	0,04	48,4
3	18.09.09	70°44'50,72" N 83°38'04,27" E	Ладыгинские Яры (оз. Белые пески)	6,79	3,9	13,1	0,96	0,02	0,1	15	0,07	19,4
4	14.09.09	71°54'30,31" N 82°41'25,65" E	Соп. Карга оз. Долган	7,84	5,7	12,3 9	0,83	0,07	0,1	16	0,12	71,4
5	11.09.09	72°44'25,85" N 79°06'13,90" E	о. Сибирякова (Среднее)	7,15	6,8	—	0,24	0,02	0,1	4	—	39,8
6	11.09.09	72°44'25,56" N 79°05'59,51" E	о. Сибирякова (Большое)	7,90	—	11,3	0,74	0,04	0,1	4	0,09	89,2
7	08.09.09	71°09'41,48" N 77°25'02,72" E	м. Черный	7,23	—	—	0,26	0,01	0,1	1	0,08	13,6

Примечание: «—» нет данных.

На водосборе озера Белые пески распространены хорошо промытые пески, химическое выветривание которых крайне низкое и, как следствие, это предопределяет незначительное поступление химических компонентов в озеро. По относительному содержанию главных ионов вода озер, расположенных в пойме Енисея, в основном относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция.

На о. Сибирякова формирование химического состава озерных вод находится под влиянием атмосферных выпадений и Карского моря, что предопределяет повышенное содержание в их составе солей морского происхождения. По химическому составу воды этих озер соответствуют гидрокарбонатно–хлоридно-кальциевым с повышенным содержанием натрия. Сумма ионов в воде равняется 39,8 и 89,2 мг/л (табл. 1).

Крайне низкая минерализация на уровне атмосферных осадков 13,6 мг/л отмечена в озере № 7. Несмотря на близость расположения, влияния моря на химический состав вод в озере не отмечено. По относительному содержанию главных ионов вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Концентрации биогенных элементов в воде этого озера низкие (табл. 1), что характерно для большинства озер Субарктики [6].

В воде всех озер регистрируется аммонийный азот, что связано с поступлением его с заболоченных водосборов. В соответствии с классификаций [23], по содержанию биогенных элементов исследованные озера относятся в основном к олиготрофному типу. Концентрации соединений минерального азота в озерах изменяются незначительно. Содержание фосфора колеблется от 1 до 12 мкг/л. Повышенные концентрации отмечены в озере № 2, что может быть связано с поступлением с водосбора, где протаивание почвенного слоя несколько глубже, что обеспечивает поступление фосфора с водосбора. Концентрация кремния в озерах изменяется от 0,24 до 0,98 мг/л. Повышенное его содержание регистрируется в озерах, где на их формирование могут оказывать влияние донные отложения (озеро № 6 на о. Сибирякова) или поступление с водосбора (озеро № 1).

Альгофлора

Всего в 7 термокарстовых озерах бассейна Нижнего Енисея в осенний период обнаружено 186 видов и внутривидовых таксонов (табл. 2). Первое место по количеству видов фитопланктона занимает отдел золотистых водорослей (хризифитовых), представленных таксонами, имеющими чешуйки, – 40 % от числа обнаруженных видов планктона, на зеленые водоросли приходится 30,4 %, на синезеленые – 10,1 %. Малочисленными по разнообразию видов оказались диатомовые (8,7 %, без учета бентосных), криптофитовые (5,1 %), харофитовые (3,6 %) и динофитовые (2,2 %).

Таблица 2. Видовой состав фитопланктона в семи термокарстовых озерах

№		Виды и внутривидовые таксоны	1	2	3	4	5	6	7
		CYANOBACTERIA							
1.	П*	<i>Anabaena</i> sp. 1	—	—	+	—	—	—	+
2.	П	<i>Anabaena</i> sp. 2	—	—	+	—	—	—	+
3.	П	<i>Aphanothece clathrata</i> f. <i>brevis</i> Bachmann	—	—	—	—	+	—	—
4.	П	<i>Chamaesiphon subglobosus</i> (Rostafinski)	—	—	—	—	+	—	—
5.	П	<i>Dolichospermum flos-aqua</i> Brébisson ex Bornet et Flahault	—	—	+	—	—	—	—
6.	П	<i>Eucapsis minuta</i> F.E. Fritsch	—	—	—	—	+	—	—
7.	П	<i>Gloeocapsa dermochroa</i> (Nägeli) Komárek et Anagnostidis	—	—	—	—	+	—	—
8.	П	<i>G. limnetica</i> (Lemmermann) Hollerbach	—	—	—	—	+	—	—
9.	П	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodatii	—	—	—	—	—	+	—
10.	П	<i>G. pusilla</i> (Van Goor.) Komárek	—	—	—	—	+	+	—
11.	П	<i>Merismopedia elegans</i> A. Braun ex Kützing	—	—	—	—	+	—	—
12.	П	<i>M. tenuissima</i> Lemmermann	—	—	—	—	—	+	—
13.	П	<i>Rhabdoderma lineare</i> Schmidle et Lauterborn	—	—	+	—	—	+	—
14.	П	<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	—	—	+	—	—	—	—
		BACILLARIOPHYTA							
15.	Б	<i>Achnanthes ingratiiformis</i> Lange-Bertalot	—	—	—	—	—	—	—
16.	Б	<i>Achnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki	+	+	—	—	—	—	—
17.	Б	<i>A. minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	+	+	—	—	—	—	—
18.	Б	<i>A. kranzii</i> (Lange-Bertalot) Round et Bukhtiyarova	—	+	—	—	—	—	—
19.	Б	<i>Amphora</i> sp.	+	—	+	—	+	—	—
20.	П	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	—	—	+	—	—	—	—
21.	П	<i>A. subarctica</i> (O.F. Müller) E. Y. Haworth	—	+	+	+	—	—	+
22.	П	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	—	+	+	—	+	—	+
23.	Б	<i>Cavinula jaernefeltii</i> (Hustedt) D.G. Mann et A.J. Stickle	—	—	+	—	—	—	—
24.	Б	<i>C. pseudoscutiformis</i> (Hustedt) D.G. Mann et A.J. Stickle	—	—	+	—	—	+	—
25.	Б	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	—	+	—	—	—	—
26.	П	<i>Cyclostephanos dubius</i> (Hustedt) Round	—	+	—	—	—	—	—
27.	П	<i>Cyclotella tripartita</i> Håkansson	+	—	—	—	—	—	—
28.	Б	<i>Cymboplectra naviculiformis</i> (Auerswald et Heiberg) K. Krammer	—	—	—	—	—	—	+
29.	Б	<i>Diatoma</i> sp.	—	—	—	—	—	+	—
30.	Б	<i>Diploneis oblongella</i> (Nägeli ex Kützing) Cleve-	—	—	—	—	+	—	—
31.	П	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk et Klee	+	—	—	—	—	—	—
32.	Б	<i>Encyonema gracile</i> Rabenhorst	—	—	+	—	—	—	—
33.	Б	<i>E. minutum</i> (Hilse) D.G. Mann	—	—	+	—	—	—	—
34.	Б	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	—	—	—	—	+	—	—
35.	Б	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	—	—	—	—	—	+	—
36.	Б	<i>F. constriens</i> f. <i>venter</i> (Ehrenberg) Hustedt	—	—	+	—	—	—	—
37.	П	<i>F. crotonensis</i> Kitton	—	—	—	—	—	—	+

38.	Б	<i>F. capucina</i> Desmazieres	—	—	+	—	—	+	—
		Виды и внутривидовые таксоны	1	2	3	4	5	6	7
39.	Б	<i>Fragilariforma bicapitata</i> (Mayer) D.M. Williams et Round	—	—	—	—	+	—	—
40.	Б	<i>Fragilariforma bicapitata</i> (Krasske) Lange-Bertalot et Metzeltin	—	—	+	—	—	—	—
41.	Б	<i>Gomphonema</i> sp.	+	+	—	—	—	—	—
42.	Б	<i>Gyrosigma</i> sp.	+	—	—	—	—	—	—
43.	П	<i>Hyalodiscus</i> sp.	—	—	—	—	—	+	—
44.	Б	<i>Hippodonta costulata</i> (Grunow) Lange Bertalot, Metzeltin et Witkowski	—	—	—	+	—	—	—
45.	Б	<i>Karayevia clevei</i> (Grunow) Round et Bukhtiyarova	—	—	—	+	—	—	—
46.	Б	<i>K. laterostrata</i> (Hustedt) L. Bukhtiyarova	—	—	+	—	—	—	—
47.	Б	<i>K. suchlandtii</i> (Hustedt) Bukhtiyarova	+	—	—	—	—	—	—
48.	Б	<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	+	—	—	—	—	—	—
49.	Б	<i>Naviculadicta absoluta</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	—	—	—	—	—	+	—
50.	Б	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	+	—	—	+	+	—	—
51.	Б	<i>N. gregaria</i> Donkin	+	—	—	—	—	—	—
52.	Б	<i>N. notha</i> Wallace	—	—	—	+	—	—	—
53.	Б	<i>N. radiosa</i> Kützing	+	—	+	—	—	—	—
54.	Б	<i>N. rhynchocephala</i> Kützing	+	+	—	—	+	—	—
55.	Б	<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve	—	—	—	—	—	+	—
56.	Б	<i>Nitzschia</i> sp.	—	+	—	—	—	—	—
57.	П	<i>N. graciliformis</i> Lange-Bertalot et Simonsen	—	+	—	—	—	—	—
58.	Б	<i>N. levidensis</i> (W. Smith) Grunow	—	—	—	—	+	—	—
59.	Б	<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	+	—	+	+	+	—	—
60.	Б	<i>N. palea</i> var. <i>capitata</i> Wislouch et Poretzky	—	—	+	—	—	—	—
61.	Б	<i>Psammothidium bioretii</i> (Germain) Bukhtiyarova et Round	—	—	+	—	—	+	—
62.	Б	<i>Pinnularia grunowii</i> Krammer	—	—	—	—	—	—	+
63.	Б	<i>P. microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	—	—	—	—	—	+	—
64.	Б	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	—	—	+	—	—	—	—
65.	Б	<i>Psammothidium bioretii</i> (Germain) Bukhtiyarova et Round	—	—	—	—	—	+	—
66.	Б	<i>P. subatomoides</i> (Hustedt) L. Bukhtiyarova et Round	+	—	+	—	—	—	—
67.	Б	<i>P. ventralis</i> (Krasske) L. Bukhtiyarova et Round	—	+	—	—	—	—	—
68.	Б	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) D.M. Williams et Round	+	—	—	—	—	—	—
69.	Б	<i>P. elliptica</i> (Schumann) Edlund, Morales et	—	—	+	—	—	—	—
70.	Б	<i>Rhopalodia</i> sp.	+	—	—	—	—	—	—
71.	Б	<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	—	—	—	—	—	—	+
72.	Б	<i>S. pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	+	—	+	—	+	—	+
73.	Б	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M. Williams et Round	+	—	—	—	—	—	—
74.	Б	<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	—	—	+	—	—	—	—

75.	Б	<i>S. schroederi</i> Hustedt	—	—	—	—	—	+	—
76.	Б	<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve et J.D. Möller	+	—	+	—	—	—	—
77.	П	<i>Synedra acus</i> (Kützing) Hustedt	—	—	+	+	+	+	—
78.	Б	<i>S. ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	—	—	+	+	—	+	—
		Виды и внутривидовые таксоны	1	2	3	4	5	6	7
79.	П	<i>Stephanodiscus makarovae</i> Genkal	+	—	—	+	—	—	—
80.	П	<i>S. minutulus</i> (Kützing) Cleve et O.F. Müller	+	+	—	+	—	—	—
81.	Б	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	—	—	+	+	—	+	+
82.	Б	<i>T. fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	—	—	—	+	—	+	—
83.	Б	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère	+	—	—	—	—	—	—
		CRYPTOPHYTA							
84.		<i>Chlamidomonas</i> sp.	—	—	+	—	—	—	—
85.	П	<i>C. reinhardtii</i> Dangeard	—	—	—	—	+	—	—
86.	П	<i>Chroomonas acuta</i> Utermöhl	—	—	+	—	—	+	+
87.	П	<i>C. breviciliata</i> Nygaard	—	—	—	—	+	—	—
88.	П	<i>Cryptomonas</i> sp.	—	—	+	—	—	+	+
89.	П	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher et Ruttner	+	—	—	—	—	—	+
90.	П	<i>R. ovalis</i> Nygaard	—	—	+	—	—	—	—
		DINOPHYTA							
91.	П	<i>Goniodoma ostenfeldii</i> Paulsen	—	—	+	—	—	—	—
92.	П	<i>Glenodinium pygmaeum</i> (Linderman) Schiller	—	—	+	—	—	—	—
93.	П	<i>Gymnodinium</i> sp.	—	—	+	+	—	—	—
		CHRYSOPHYTA							
94.	П	<i>Stenokalyx laticollis</i> Conrad	—	—	—	—	—	+	—
95.	П	<i>Dinobryon bavaricum</i> O.E. Imhof	—	—	+	—	—	—	—
96.	П	<i>D. borgei</i> Lemmermann	—	—	—	—	—	—	—
97.	П	<i>D. cylindricum</i> O.E. Imhof	—	—	+	—	—	—	+
98.	П	<i>D. divergens</i> O.E. Imhof	—	—	+	—	—	—	+
99.	П	<i>D. elegans</i> Reverdin	—	—	+	—	—	—	—
100.	П	<i>D. sertularia</i> Ehrenberg	—	—	+	+	—	—	—
101.	П	<i>D. suecicum</i> Lemmermann	+	—	—	+	—	—	—
102.	П	<i>D. suecicum</i> var. <i>longispinum</i> Lemmermann	—	—	+	—	—	—	—
103.	П	<i>Kephyrion boreale</i> Skuja	—	—	+	—	—	+	—
104.	П	<i>K. obliquum</i> D.J. Hilliard	—	—	+	—	—	—	—
105.	П	<i>K. spirale</i> (Lackey) Conrad	—	—	+	+	+	+	+
106.	П	<i>K. starmachii</i> (Czosnowski) Bourtelly	—	—	+	—	—	—	—
107.	П	<i>Pseudokephyrion alaskanum</i> D.J. Hilliard	—	—	+	—	+	—	—
108.	П	<i>P. entzii</i> Conrad	—	—	+	—	+	—	—
109.	П	<i>P. minutissimum</i> Conrad	+	—	+	—	—	—	—
110.	П	<i>P. rutneri</i> (Schiller) Schmid	+	—	—	—	—	—	—
111.	П	<i>P. ovum</i> (Pascher et Ruttner) Schmid	+	—	+	—	—	+	—
112.	П	<i>Chrysophaerella brevispina</i> Korshikov	—	—	+	—	—	—	—
113.	П	<i>C. coronacircumspina</i> D.E. Wujek et J. Kristiansen	+	—	—	—	—	—	—
114.	П	<i>Paraphysomonas</i> sp.	—	—	+	—	—	—	—
115.	П	<i>P. bandaiensis</i> Takahashi	—	—	+	—	—	—	—
116.	П	<i>P. gladiata</i> Preisig et D.J. Hibberd	+	—	—	—	—	—	+
117.	П	<i>P. vestita</i> (A.C. Stokes) De Saedeleer	—	—	+	—	—	—	+
118.	П	<i>Mallomonas akrokomos</i> Ruttner	+	—	+	—	—	—	+

119.	П	<i>M. alata f. alata</i> Asmund, Cronberg <i>et</i> Dürschmidt	+	+	—	—	—	—	—
120.	П	<i>M. alata f. hualvensis</i> Asmund, Cronberg & Dürschmidt	—	—	—	—	+	—	—
121.	П	<i>M. caudata</i> Ivanov	—	+	+	—	+	—	—
122.	П	<i>M. crassisquama</i> (Asmund) Fott	+	+	+	—	—	—	+
		Виды и внутривидовые таксоны	1	2	3	4	5	6	7
123.	П	<i>M. crassisquama</i> var. <i>papillosa</i> P.A. Siver <i>et</i> Skogstad	+	—	+	—	—	—	+
124.	П	<i>M. heterospina</i> J.W.G. Lund	—	—	—	—	+	—	+
125.	П	<i>M. insignis</i> E. Pénard	—	—	+	—	—	—	—
126.	П	<i>M. striata</i> Asmund	—	—	+	—	+	—	—
127.	П	<i>M. tonsurata</i> Telling	+	+	—	—	+	—	—
128.	П	<i>Chrysodidymus synuroideus</i> Prowse	—	—	—	—	—	—	+
129.	П	<i>Spiniferomonas minuta</i> Nicholls	+	—	—	—	—	—	—
130.	П	<i>S. bilacunosa</i> E. Takahashi	+	—	—	—	—	—	+
131.	П	<i>S. bourrellyi</i> E. Takahashi	+	—	—	—	—	—	+
132.	П	<i>S. cornuta</i> I.M. Balonov	+	—	—	—	—	—	+
133.	П	<i>S. crusigera</i> E. Takahashi	+	—	—	—	—	—	—
134.	П	<i>S. serrata</i> Nicholls	—	—	+	—	—	—	—
135.	П	<i>S. triangularis</i> P.A. Siver	+	—	—	—	—	—	—
136.	П	<i>S. trioralis f. trioralis</i> E. Takahashi	+	+	+	—	+	—	+
137.	П	<i>S. trioralis f. cuspidata</i> I.M. Balonov	—	—	+	—	—	—	—
138.	П	<i>Synura leptorrhabda</i> Asmund	—	—	+	—	+	—	+
139.	П	<i>S. petersenii</i> Korshikov	—	—	+	—	—	—	+
140.	П	<i>S. petersenii f. kufferathii</i> J.B. Petersen <i>et</i> J.B. Hansen	—	—	+	—	+	—	+
141.	П	<i>S. spinosa</i> Korshikov	—	+	—	—	+	—	+
		CHLOROPHYTA							
142.	П	<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair	+	—	+	—	—	—	—
143.	П	<i>Dictiospaerium</i> sp.	—	—	—	—	+	—	+
144.	П	<i>D. pulchellum</i> H.C. Wood	—	+	+	—	—	—	—
145.	П	<i>D. subsolitaria</i> Van Goor	—	—	+	—	—	+	—
146.	П	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	—	—	—	—	+	—	—
147.	П	<i>Crucigenia</i> sp. 1	—	—	+	—	—	+	—
148.	П	<i>Crucigenia</i> sp. 2	—	—	+	—	—	+	—
149.	П	<i>C. quadrata</i> Morren	—	—	+	—	—	—	+
150.	П	<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	—	—	+	+	—	+	+
151.	П	<i>Lagerheimia chodatii</i> C. Bernard	—	—	+	—	—	—	—
152.	П	<i>L. genevensis</i> (Chodat) Chodat	—	+	+	—	—	—	—
153.	П	<i>Microcystis pulvereae</i> (Wood) Forti <i>emend</i> Elenkin	—	—	—	—	+	—	—
154.	П	<i>M. pulvereae f. holsatica</i> (Lemmermann) Elenkin	—	—	—	—	+	—	—
155.	П	<i>Monorapidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	+	—	+	+	—	+	+
156.	П	<i>M. contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	—	—	+	—	—	+	+
157.	П	<i>M. griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	—	—	—	—	+	—	—
158.	П	<i>M. tortile</i> (West <i>et</i> G.S. West) Komárková-Legnerová	—	—	—	—	+	—	—
159.	П	<i>Nephrochlamys subsolitaria</i> (G.S. West) Korshikov	—	—	—	—	+	—	—

160.	П	<i>Oocystis</i> sp.	—	—	+	—	+	+	+
161.	П	<i>O. marssonii</i> Lemmermann	—	—	—	—	+	—	—
162.	П	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini	—	—	+	—	+	+	—
163.	П	<i>P. braunii</i> Wartmann	—	—	+	—	—	—	—
164.	П	<i>P. duplex</i> var. <i>gracillimum</i> West et G.S. West	—	—	—	—	+	+	—
165.	П	<i>P. kawraiskyi</i> Schmidle	—	—	—	—	+	—	—
166.	П	<i>P. privum</i> (Printz) E. Hegewald	—	—	+	—	—	—	—
167.	П	<i>P. tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	+	—	+	—	+	+	—
168.	П	<i>Scenedesmus acutus</i> <u>Meyen</u>	—	—	+	—	+	—	—
169.	П	<i>S. arcuatus</i> Lemmermann	—	—	—	—	+	—	—
		Виды и внутривидовые таксоны	1	2	3	4	5	6	7
170.	П	<i>S. bicaudatus</i> Chodatii	—	—	—	—	+	—	—
171.	П	<i>S. denticulatus</i> var. <i>linearis</i> f. <i>costato-granulatus</i> (Hortob) Uherkovich	—	—	—	—	+	—	—
172.	П	<i>S. falcatus</i> Chodatii	—	—	—	—	+	—	—
173.	П	<i>S. obliquus</i> (Turpin) Kützing	—	—	—	—	+	—	—
174.	П	<i>S. obtusus</i> Meyen	—	—	+	—	+	—	—
175.	П	<i>S. opolensis</i> P.G. Richter	—	—	—	—	+	—	—
176.	П	<i>S. protuberans</i> Fritsch	—	—	—	—	+	—	—
177.	П	<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brebisson	—	—	+	+	+	+	+
178.	П	<i>S. spinosus</i> Chodatii	—	—	—	—	+	—	—
179.	П	<i>S. serratus</i> (Corda) Bohlin	+	—	+	+	+	+	+
		CHAROPHYTA							
180.	П	<i>Cosmarium margaritatum</i> (P. Lundell) J. Roy et Bisset	—	—	—	—	—	+	—
181.	П	<i>C. magnificum</i> Nordstedt	—	—	—	—	+	—	—
182.	П	<i>C. lundellii</i> var. <i>corruptum</i> (W.B. Turner) West et G.S. West	—	—	—	—	+	—	—
183.	П	<i>Stauroidesmus petsamoense</i> Jarnefelt	—	—	+	—	—	—	+
184.	П	<i>Staurastrum</i> sp.	—	—	+	—	—	—	+
		RHODOPHYTA							
185.	П	<i>Acanthoceras zachariasii</i> (Brun) Simonsen	—	—	+	—	—	—	—
		EUGLENOPHYTA							
186.	П	<i>Euglena proxima</i> P.A. Dangeard	—	—	—	+	+	+	—
		Всего	47	20	92	20	59	37	31

*Примечание: П – планктонные, Б – бентосные.

Номера озер соответствуют приведенным на рисунке 1 и в таблице 1.

Наибольшее видовое богатство водорослей (92 вида) зафиксировано в термокарстовом озере № 3 (Ладыгинские Яры) (рис. 1; табл. 2). Основу видового разнообразия формируют хризофитовые (44,8 % от общего количества видов фитопланктона в озере) и зеленые водоросли (32,8 %). Диатомовые, цианобактерии и криптофитовые водоросли занимают по 6 %, динофитовые – 4,5 % от общего количества видов фитопланктона (рис. 2).

Общая численность фитопланктона в озере № 3 составляет 390 тыс. кл./л, а биомасса 49,6 мг/м³ (рис. 3). По численности преобладают синезеленые рода *Anabaena* sp. 1 и *A. sp. 2*, численность которых достигает 200 тыс. кл./л, а также зеленая водоросль – *Scenedesmus ellipticus* (33,8 тыс. кл./л), диатомовая *Asterionella formosa*, золотисая *Dinobryon bavaricum*, общая численность этих видов достигает 20 тыс. кл./л.

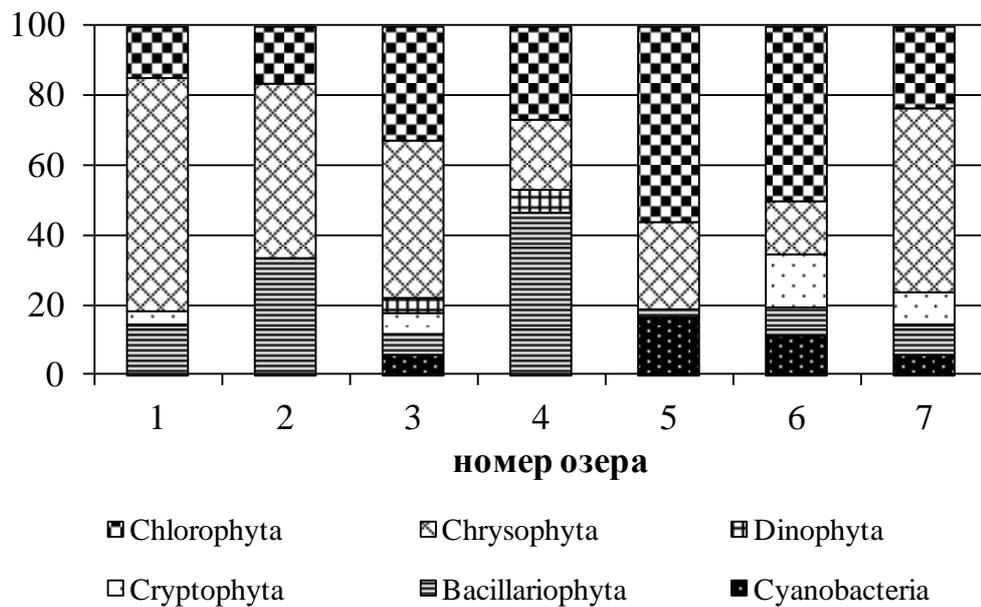


Рисунок 2. Соотношение отделов планктонных водорослей в термокарстовых озерах. Номера озер соответствуют приведенным на рисунке 1 и в таблице 1

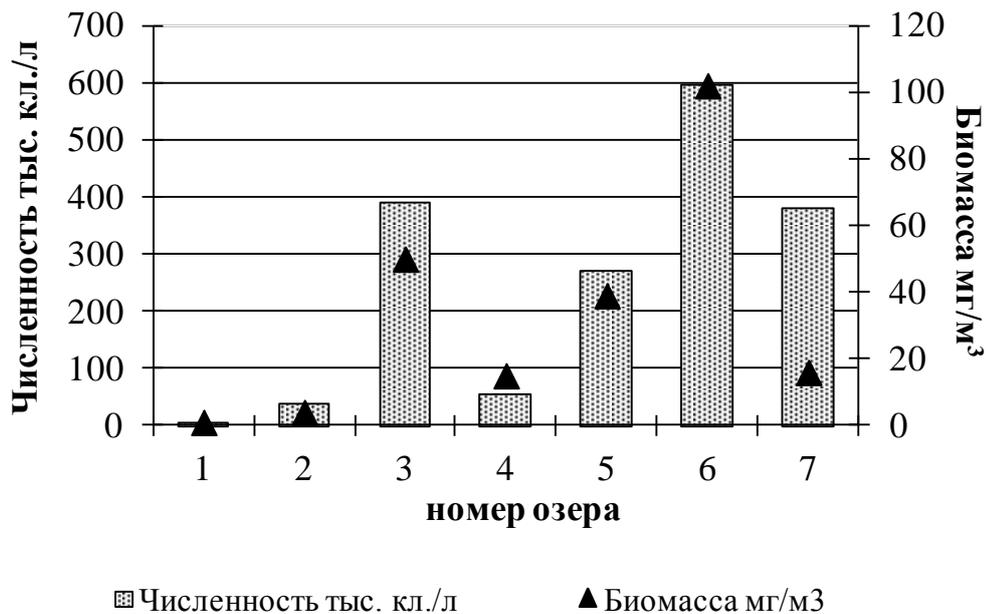


Рисунок 3. Распределение численности и биомассы фитопланктона в термокарстовых озерах. Номера озер соответствуют рис. 1 и табл. 1

Наибольший вклад в биомассу фитопланктона вносят виды рода *Anabaena* (15 мг/м³), золотистые водоросли – *Dinobryon bavaricum* (8 мг/м³) и диатомовые – *Asterionella formosa* (5 мг/м³).

Численность и биомасса бентосных диатомовых водорослей в озерах не учитывалась, отметим, что из попавших в пробу видов в озере № 3 часто встречаются *Navicula radiosa*, *Psammothidium bioretii* и *P. rossii*. Разнообразно представлены чешуйчатые хризофитовые, видовой состав которых был определен в электронном микроскопе на основе материала, отобранного на фильтры. Доминируют таксоны: *Spiniferomonas trioralis* f. *cuspidata*, *Synura leptorrhabda*, *S. petersenii* и *S. petersenii* f. *kufferathii*.

Высокий процент хризофитовых в озере № 3 может быть обусловлен низкой температурой воды, ограничивающей видовое разнообразие других отделов фитопланктона, высоким содержанием кислорода (13,14 мг/л) и оптимальным для их развития уровнем рН (6,79).

В термокарстовом озере № 6 (оз. Большое на о. Сибирякова) (рис. 1) обнаружено 37 таксонов (табл. 2). В фитопланктоне озера по количеству видов преобладают зеленые (50 % от общего количества видов фитопланктона в озере), хризофитовые (15,4 %), криптофитовые водоросли (15,4 %) и цианобактерии (11,5 %) (рис. 2). В озере зафиксирована максимальная численность (595,2 тыс. кл./л) и биомасса (49,6 мг/м³) фитопланктона среди других исследованных озер Нижнего Енисея (рис. 3). Доминирует вид синезеленых – *Gomphosphaeria pusilla*, вносящий наибольший вклад в численность (410,7 тыс. кл./л) и биомассу (41,4 мг/м³) фитопланктона. По численности преобладают виды: синезеленые – *Chroococcus disperses* (43,2 тыс. кл./л); зеленые водоросли – *Scenedesmus quadricauda* (31,5 тыс. кл./л), *S. opoliensis* (12, 4 тыс. кл./л), *S. acutus* (7 тыс. кл./л), а также *Gloeocapsa dermochroa*, *Chroococcus limneticus*, *Eucapsis minuta*, численность каждого вида превышает 5 тыс. кл./л. Наибольший вклад в биомассу вносят виды синезеленых – *Aphanothece clathrata* var. *brevis* (18,1 мг/м³) и *Microcystis pulvereae* (11,5 мг/м³). Бентосные диатомовые водоросли чаще представлены видами – *Encyonema silesiacum* и *Navicula cryptocephala* (табл. 2). Чешуйчатые хризофитовые в озере не обнаружены.

В термокарстовом озере № 5 (оз. Среднее на о. Сибирякова) (рис. 1) зарегистрировано 58 таксонов (табл. 2). Таксономический состав фитопланктона в озере представлен зелеными водорослями (56,3 % от общего количества видов фитопланктона в озере) и хризофитовыми (25 %) (рис. 2). Среди зеленых водорослей разнообразно представлен род *Scenedesmus* (13 видов), что как известно, характерно для термокарстовых озер аласного происхождения [1]. Общая численность фитопланктона достигает 270,4 тыс. кл./л, а биомасса 39,7 мг/м³ (рис. 3). Доминирует вид криптофитовых – *Chroomonas breviciliata*, который вносит наибольший вклад в численность (161,9 тыс. кл./л) и биомассу (13 мг/м³) фитопланктона. Наибольшей

численности также достигают виды из отдела криптофитовых – *Chlamidomonas reinhardtii* (21,3 тыс. кл./л), зеленых – *Scenedesmus serratus* и синезеленых *Merismopedia tenuissima* по 10 тыс. кл./л. Наибольший вклад в биомассу вносит вид зеленых *Pediastrum duplex* (4 мг/м³). Среди бентосных диатомовых водорослей преобладает разновидность *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*. Среди чешуйчатых хризофитовых часто встречается *Mallomonas heterospina*, редко *Spiniferomonas trioralis* f. *trioralis*, *M. alata* f. *hualvensis*, *M. tonsurata* и *Synura leptorrhabda*.

В термокарстовом озере № 1 (Ледяная гора) (рис. 1) зарегистрировано 47 таксонов (табл. 2). Основу видового богатства составляют хризофитовые (66,7 % от общего количества фитопланктона), диатомовые и зеленые водоросли (по 14,8 %) (рис. 2). В озере наблюдаются самыми низкие среди других озер значения численности (4,6 тыс. кл./л) и биомассы (1 мг/м³) (рис. 3). В фитопланктоне преобладает вид из отдела криптофитовых – *Rhodomonas lacustris*, численность которого едва превышает 2 тыс. кл./л, а биомасса 0,3 мг/м³. Бентосные водоросли представлены *Achnantheidium minutissimum*, *Navicula cryptocephala* и *Nitzschia palea* (табл. 2). Несмотря на повышенную минерализацию в озере (сумма ионов равняется 143 мг/л) и самое высокое среди других исследованных озер Нижнего Енисея значение pH (8,4), чешуйчатые хризофитовые развиваются обильно. Доминируют виды *Mallomonas tonsurata* и *Spiniferomonas cornuta* часто встречаются *S. bilacunosa*, *S. bourrellyi*, *S. crusigera*, *S. trioralis* f. *trioralis*, *M. crassisquama* var. *papillosa*.

В озере № 7 (мыс Черный в Гыданском заливе) обнаружен 31 таксон (рис. 1, табл. 2). В составе фитопланктона преобладают хризофитовые (53,4 % от общего количества видов фитопланктона) и зеленые водоросли (23,5 %) (рис. 2). Основной вклад в численность и биомассу вносят два вида рода *Anabaena* (синезеленые) (более 250 тыс. кл./л и 5 мг/м³) (рис. 3). По численности преобладают зеленые водоросли *Dictiosphaerium* sp. (49,6 тыс.

кл./л), *Scenedesmus quadricauda* (13,3 тыс. кл./л), *Staurodesmus glaber* (10,7 тыс. кл./л). Наибольший вклад в биомассу вносят два вида синезеленых рода *Anabaena* (5 мг/м³), золотистые водоросли – *Dinobryon divergens* (4 мг/м³) и зеленые – *Dictiosphaerium* sp. (3 мг/м³). Из бентосных диатомовых водорослей единично встречаются виды *Symbopleura naviculiformis*, *Pinnularia grunowii* и *Sellaphora pupula*. Обильно представлены чешуйчатые хризофитовые *Mallomonas crassisquama*, *M. crassisquama* var. *papillosa* и *S. petersenii* f. *kufferathii*. Часто среди них встречаются таксоны *M. akrokomos*, *M. heterospina*, *Synura leptorrhabda*, *S. petersenii* и *S. spinosa*.

Наименьшее количество видов водорослей (20 таксонов) обнаружено в термокарстовом озере № 2 (вблизи п. Караул) (рис. 1). В озере преобладают хризофитовые (50 % от общего количества видов фитопланктона) и диатомовые водоросли (33,3 %). В термокарстовом озере № 2 численность фитопланктона составляет 38,9 тыс. кл./л, а биомасса 4 мг/м³ (рис. 3). Как по числу клеток, так и по биомассе в озере доминируют два вида: диатомовая водоросль – *Aulacoseira subarctica* (14,7 тыс. кл./л и 3 мг/м³) и зеленая – *Dictyosphaerium pulchellum* (18,7 тыс. кл./л и 1,1 мг/м³). Из бентосных водорослей, попавших в пробу, часто встречается *Nitzschia graciliformis*. Чешуйчатые хризофитовые встречаются редко, единично обнаружены *Spiniferomonas trioralis* f. *trioralis*, *Mallomonas alata* f. *alata*, *M. crassisquama*, *M. tonsurata* и *S. spinosa*.

В термокарстовом озере № 4 (Сопочная Карга оз. Долган) (рис. 1) обнаружено 19 таксонов. Основу видового состава фитопланктона составляют диатомовые (46,7 %), зеленые водоросли (26,7 %) и хризофитовые (20 %) (рис. 2). В озере обнаружены низкие значения численности и биомассы фитопланктона. Численность фитопланктона составляет 54,7 тыс. кл./л, биомасса (15,1 мг/м³) (рис. 3). Наибольший вклад в численность и биомассу фитопланктона вносят виды – *Dinobryon sueticum* (13 тыс. кл./л и 1 мг/м³) и

Aulacoseira subarctica (12 тыс. кл./л и 3 мг/м³). Среди бентосных диатомовых водорослей в пробе преобладает *Nitzschia palea*. Чешуйчатые хризофитовые в озере не обнаружены.

Статистический анализ

Дендрограмма кластеризации озер наиболее сходных по видовому составу микроводорослей, выполненная дистанционным методом UPGMA позволила выявить три группы: озера № 7, 3 и 6 – группа А, № 4 и 5 – группа В, № 2 и 1 – группа С (рис. 4а). Та же картина наблюдается при рассмотрении результатов многомерного шкалирования в пространстве двух координат (рис. 4б). На двухмерных графиках расположения точек на основе видового состава фитопланктона также прослеживаются общие закономерности, характеризующие совокупность изучаемых озер.

В группе А общими для трех озер таксонами являются *Tabellaria flocculosa*, *Chroomonas acuta*, *Cryptomonas* sp., *Kephyrion spirale*, *Koliella longiseta*, *Monorapgidium arcuatum*, *M. contortum*, *Oocystis* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *S. serratus* (табл. 2). Наиболее часто среди остальных сходных таксонов в озерах встречается *Scenedesmus quadricauda*.

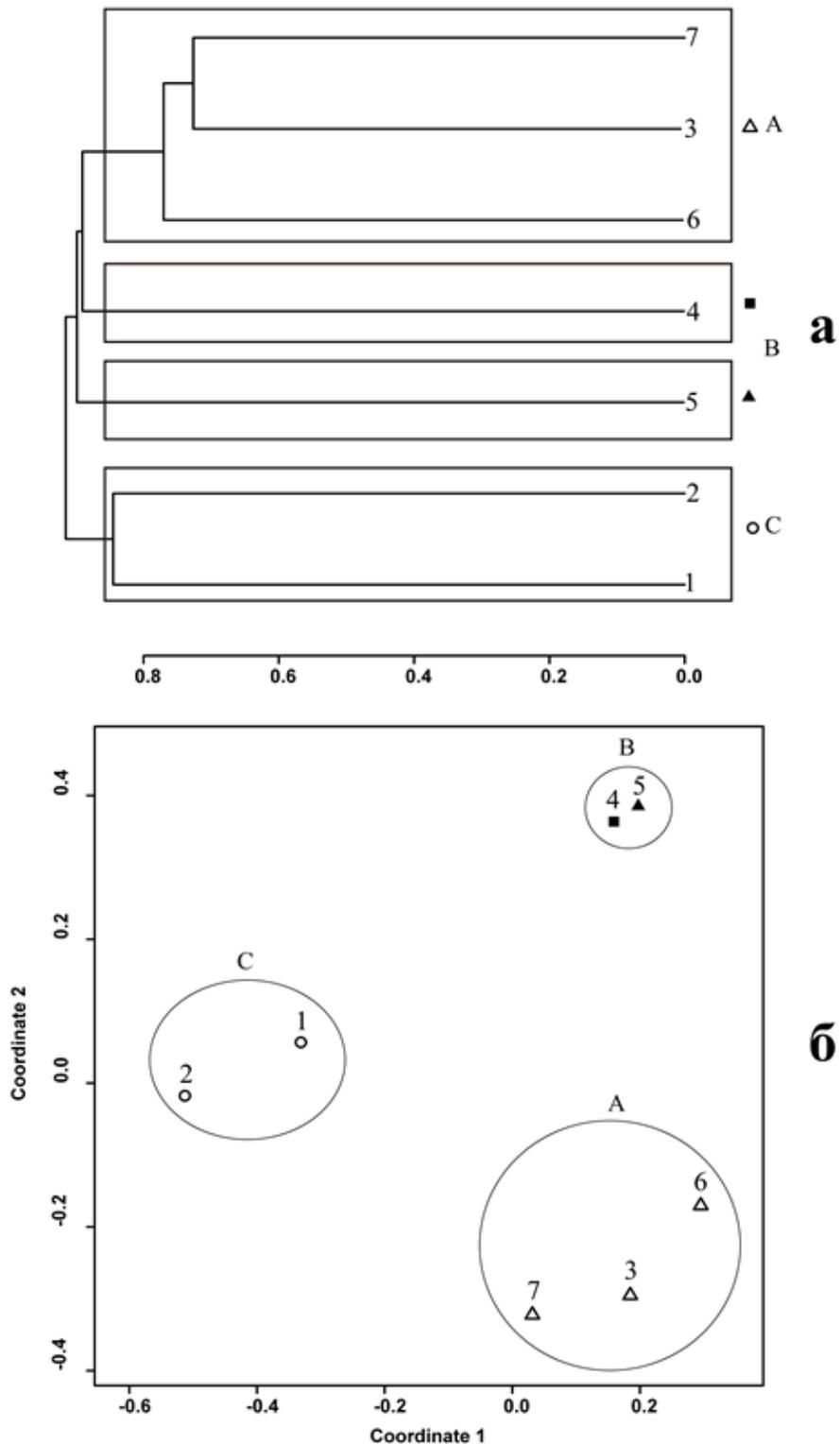


Рисунок 4. Дендрограмма (а) и двухмерный график (б) распределения проб на основе видового состава фитопланктона. А, В, С – группы озер. Номера озер соответствуют приведенным на рисунке 1 и в таблице 1

Озера № 4 и 5, выделившиеся в отдельный кластер, на дендрограмме объединены в группу В. При рассмотрении результатов многомерного шкалирования в пространстве двух координат эти озера сгруппировались в компактную группу, поскольку в видовом составе этих двух озер есть общие таксоны, это *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea*, *Synedra acus*, *K. spirale*, *S. quadricauda*, *S. serratus*.

В группе С общие таксоны: *Achnanthydium exiqa*, *A. minutissimum*, *Gomphonema* sp., *Nitzschia rhynchocephala*, *Stephanodiscus minutulus*, *Mallomonas alata* f. *alata*, *M. crassisquama*, *M. tonsurata*, *Spiniferomonas trioralis* f. *trioralis*. При выяснении связи видового состава фитопланктона и химического состава воды в исследуемых термокарстовых озерах удалось установить, что только озера на ст. 1 и 2, попавшие в кластер С (рис. 4), характеризуют высокое содержание фосфатов (8 и 12 мкг/л соответственно). В этих озерах по количеству общих видов преобладают хризофитовые, в группах А и В преобладают зеленые водоросли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованные слабоминерализованные термокарстовые озера в период открытой воды характеризуются благоприятными для развития фитопланктона условиями – величина рН близка к нейтральной, содержание растворенного кислорода не опускается ниже 11 мг/л. Вода низкоминерализованная, в основном относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. В озерах на о. Сибирякова воды соответствуют гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевым с повышенным содержанием натрия. По содержанию биогенных элементов исследованные озера Нижнего Енисея относятся к олиготрофному типу.

В термокарстовых озерах Нижнего Енисея обнаружено 186 таксонов микроводорослей из 9 отделов: синезеленые – 14 видов, диатомовые – 70, из них планктонных – 12 таксонов, криптофывые – 7, динофитовые – 3,

хризифитовые – 47, зеленые – 38, харофитовые – 5, родофитовые – 1 и эвгленовые – 1 вид (табл. 1).

Самые многочисленны роды – *Scenedesmus* (12 таксонов), *Mallomonas* и *Spiniferomonas* по 9, *Dinobryon* – 8 таксонов, *Pediastrum* – 6 и *Pseudokephyrion* – 5. Общие таксоны, встречающиеся в 4 из 7 исследованных озер: *Asterionella formosa*, *N. palea*, *Sellaphora pupula*, *Synedra acus*, *Tabellaria flocculosa*, *K. spirale*, *S. trioralis* f. *trioralis*, *Koliella longiseta*, *Monorapgidium arcuatum*, *Pediastrum tetras*, *Scenedesmus quadricauda*, *S. serratus*.

Несмотря на то, что термокарстовые озера Нижнего Енисея в исследуемый период наиболее сходны по химическому составу вод с термокарстовыми озерами Якутии, структура альгофлор этих двух районов существенно отличается. Как известно, в термокарстовых озерах Якутии максимальные количественные значения дают диатомовые и синезеленые водоросли [1]. В озерах Нижнего Енисея по количеству видов преобладают в основном чешуйчатые хризифитовые, зеленые водоросли и в меньшей степени представлены диатомовые. Также различаются и отделы фитопланктона, дающие наибольшую численность и биомассу. Максимальная численность и биомасса в исследованных озерах № 3, 6 и 7 складывается синезелеными водорослями, в озере № 2 диатомовыми, № 1 и 5 криптофитовыми.

Благодарности. Микроскопические исследования выполнены в рамках темы ФАНО № 0345–2014–0001 «Исследование генетических, молекулярных, эволюционных и экологических аспектов представителей царства Chromista как основных продуцентов биологического кремнезема и участников круговорота биогенных элементов водных экосистем» на базе Объединенного Приборного Центра «Ультрамикроанализа» ЛИН СО РАН. Гидрохимический анализ выполнен в рамках программы Президиума РАН 20, подпрограммы «Комплексные исследования Арктического шельфа», проект 20.7.

Литература:

1. Васильева-Кралина И.И. Альгофлора и ритмы их развития в озёрах Якутии. Материалы международной конференции "Озёра холодных регионов". Ч. II. Гидробиологические вопросы. – Якутск, 2000. – С. 15–22.
2. Манасыпов Р.М. Некоторые биогеохимические особенности озерных термокарстовых экосистем субарктики Западной Сибири при климатических изменениях. Вестник КазНУ. – Алматы. – 2012. <http://articlekz.com/article/8858>.
3. Касымская М.В. Реликтовый термокарстовый рельеф и талики восточной части шельфа моря Лаптевых : автореф. Дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.08 / Касымская Мария Васильевна. М., 2010. – 28 с.
4. Кравцова В.И., Тарасенко Т.В. Динамика термокарстовых озер центральной Якутии при изменениях климата с 1950 года // Криосфера Земли. – 2011. – № 3. – С. 31–42.
5. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам : автореф. Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.33. – М., 2013. – 26 с.
6. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. – М.: Наука, 2010. – 268 с.
7. Мухин Н.И. Особенности возникновения и развития термокарстовых озер на территории Яно-Индибирской низменности // Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 18-25.
8. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. – Л.: Наука, 1985. – 165 с.

9. Васильева И.И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии. Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, Якутск, 1989. – 48 с.
10. Ермолаев В.И., Ремигайло, П.А., Габышев, В.А. Водоросли планктона водоемов бассейна озера Таймыр // Сибир. экол. журн. – 2003. – № 10. – С. 381–387.
11. Габышев В.А. Фитопланктон водоемов бассейна средней р. Лены в районе проектируемого нефтепровода (Якутия, Россия) // Альгология. – 2009. – № 19. – С. 103–112.
12. Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes // Science. – 2005. – № 308. – P. 1429.
13. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета, Томск. – 2008. – № 133. – С. 185–189.
14. Методы гидрохимических исследований океана / О.К. Бордовский и В.Н. Иваненков (ред.). – Москва: Наука, 1978. – 270 с.
15. Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Журн. аналит. химии. – 1999. – Т. 54, № 9. – С. 962–965.
16. Wetzel R.G., Likens G.E. Limnological analyses. – New York: Springer-Verlag, 1991. – 391 p.
17. Вассер С.П. Водоросли: Справочник. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.

18. Макарова И.В., Пичкилы Л.О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботан. журн. – 1970. – Т. 55, № 10. – С. 1488–1495.

19. Algae base [Electronic resource] – / Algae base. – Access mode : <http://www.algaebase.org/>.

20. Legendre P., Legendre L. Numerical Ecology 3rd English edition. Developments in environmental modeling // Elsevier Science BV, Amsterdam, 2012. – Vol. 24. – 990 pp.

21. Cox T.F., Cox M.A.A. Multidimensional scaling. Second edition 2nd edition Chapman & Hall / CRC, New York, NY, USA, 2001. – 289 pp.

22. Моисеенко Т.И. Изменение стратегии жизненного цикла рыб под воздействием хронического загрязнения вод // Экология. – 2002. – № 1. – С. 50–60.

23. Окснюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – № 4. – С. 62–76.