

Водоросли термокарстовых озер бассейна реки Татты (Центральная Якутия, Россия)

Пшеникова Е.В. ¹, Копырина Л.И. ²

¹ Медицинский институт, Северо-Восточный федеральный университет,
ул. Ойунского, 27, Якутск 677000, Россия
el_viss@mail.ru

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
просп. Ленина, 41, Якутск 677000, Россия
l.i.kopyrina@mail.ru

Реферат

Представлены результаты исследований альгофлоры термокарстовых озер Центральной Якутии, расположенных в бассейне р. Татты, левого притока р. Алдан (Лено-Алданского междуречья). Обнаружены 384 вида (в т.ч. 401 внутривидовой таксон, ввт) из 9 отделов: *Bacillariophyta* – 100 видов (105 ввт), *Chlorophyta* – 90 (96) и *Cyanobacteria* – 86 (89). Менее разнообразно были представлены *Heterokontophyta* – 47 (55), *Charophyta* – 40, *Euglenozoa* – 10 и *Myxozoa* – 7. *Cryptophyta* и *Raphidophyta* содержали по 2 вида. Доминировали по видовому разнообразию *Bacillariophyta*, по количественным показателям – *Cyanobacteria*, их представители (*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet et Flahault и *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing) вызывали «цветение» воды. Установлено, что с увеличением численности и биомассы водорослей возрастают показатели биологического загрязнения воды, ухудшается ее качество. Во всех озерах выявлены виды-индикаторы сапробности воды, относящиеся к β-α-мезосапробам, индекс сапробности составлял 1,6–2,8. На основании биологического анализа, с учетом химических показателей воды, озера можно считать эвтрофными, среднезагрязненными. В термокарстовых озерах бассейна р. Татты выявлено 6 таксонов водорослей, новых для водоемов Якутии. Это представители *Cyanobacteria* (*Anabaena jonssonii* В.-Petersen, *Gomphosphaeria cordiformis* (Wille) Hansgirg), *Raphidophyta* (*Gonyostomum intermedia* Skuja), *Bacillariophyta* (*Surirella elegans* f. *constricta* A.Mayer, *Stauroneis phoenicenteron* var. *brevis* (Dippel) Hustedt) и *Charophyta* (*Elakatothrix lacustris* Korschikov).

Ключевые слова: термокарстовые озера, Центральная Якутия, альгофлора, водоросли, виды, численность, биомасса, сапробность, качество воды, «цветение» воды

Введение

Бассейн р. Татты с многочисленными озерами расположен на Лено-Алданском плато. Общая площадь озер (их около 2300) составляет почти 51,2 км². Несмотря на то, что бассейн р. Татты расположен в районе сплошной мерзлоты, процесс протаивания почвы и запасы почвенно-глубинных вод незначительны и на питание озерно-речной системы существенно не влияют. Питание реки, ее придаточной системы и озер осуществляется лишь за счет снега, весенних паводков и сточных дождевых вод. Река Татта, ее притоки и озера являются главными источниками питьевой воды (водоснабжения) для населения. В настоящее время озера бассейна реки подвержены сильному антропогенному загрязнению органическими отходами в результате жизнедеятельности расположенных вблизи населенных пунктов и животноводческих ферм. Многие озера интенсивно высыхают.

Исследования термокарстовых среднетаежных озер Центральной Якутии проводятся с 1960-х гг. прошлого столетия. По данным И.И. Васильевой (1989), выявлено 559 видов и внутривидовых таксонов водорослей (ввт). Первые сведения о водорослях водоемов в бассейне р. Татты Лено-Алданского междуречья представлены в работе Л.Е. Комаренко и др. (1972). Материалом для исследований послужила коллекция из 100 проб, собранных в р. Татта и некоторых ее притоках и озерах. Авторы отмечают, что в стоячих и текучих водоемах бассейна реки обитают 262 ввт, включая те, которые содержат номенклатурный тип вида, в т.ч. *Chlorophyta* – 104, *Bacillariophyta* – 81, *Cyanoprokaryota* – 36, *Euglenophyta* – 22, *Xanthophyta* – 12, *Chrysophyta* – 4, *Dinophyta* – 2 и *Cryptophyta* – 1.

В 1980–1990 гг. исследования термокарстовых (аласных) озер Лено-Амгинского междуречья проводились Е.В. Пшенниковой (1994). Обнаружено 363 вида водорослей (404, в т.ч. ввт). Отмечена высокая численность клеток водорослей (до 538 млн кл/л) и их биомасса (до 28 мг/л). Л.А. Пестрякова (2009) исследовала *Bacillariophyta* донных отложений среднетаежных озер, включая термокарстовые. Обнаружено 386 видов диатомей. Фитопланктон некоторых аласных (термокартовых) озер Лено-Амгинского междуречья изучали Е.В. Пшенникова (2003) и А.П. Иванова (2007, 2008).

На сегодняшний день для термокарстовых озер известно 767 видов водорослей, включая внутривидовые таксоны, что составляет около 25% всей альгофлоры Якутии.

Цель данной работы – продолжение изучения разнообразия и экологической роли водорослей термокарстовых озер Центральной Якутии.

Материалы и методы

Исследования термокарстовых озер Лено-Алданского междуречья проводились в конце июля–начале августа 2001–2009 гг. в бассейне р. Татты – левого притока р. Алдан. Обследовано 11 озер в окрестностях

поселков Туора Кюель, Телей-Диринг и Харбала. Сбор и обработку проб водорослей проводили по общепринятым в альгологии методикам (Голлербах, Полянский, 1951; Водоросли, 1989; Руководство..., 1992). Пробы фитопланктона для количественного и качественного анализов (всего 240) отбирали в литорали и пелагиали, измеряли также глубину водоема, температуру и прозрачность воды, содержание кислорода и углекислого газа. Исследования проводили совместно с учеными Института биологических проблем криолитозоны (ИПБК) СО РАН, Института прикладной экологии Севера и Медицинским институтом Северо-Восточного федерального университета.

В табл. 1 приведены физические и гидрохимические показатели воды исследуемых озер. Показатели жесткости и минерализации представлены по данным Т.П. Трофимовой (2007).

Таблица 1. Некоторые физические и химические показатели воды термокарстовых озер бассейна р. Татты

Озеро	Т °С	Прозрачность, м	Глубина, м	Содержание, мг/л		Общая	
				О ₂	СО ₂	жесткость, мг·экв/л	минерализация, мг/л
Кэтит Кюель	19–22	0,9	2,3–2,5	10,25	8,3	4,4	344,56
Арылах	20	0,8	0,9	18,45	10,5	5,04	403,27
Юнеля	17	0,3	1,5	11,9	5,8	8,64	793,05
Туора Кюель	22,5	0,95	1,65	7,8	6,2	5,04	454,16
Аргаа Дегюдей	22	1,1	1,8	10,66	8,5	7,48	821,03
Илин Дегюдей	20,5	0,45	1,4	13,53	9,6	4	305,21
Таргыйях	22	1,0	2,7	9,02	7,1	5,04	528,5
Диринг	24,5	0,25	3,1	7,8	5,8	4,48	693,73
Еленнэх	24	0,6	1,6	10,66	7,8	4,48	478,82
Харбала 1	20	0,6	1,5	10,0	7,5	4,5	415,2
Харбала 2	20	0,5	1,2	12,0	10,6	4,6	432,8

В летний период температура воды в озерах составляла 17–22,5 °С (с максимальными значениями в июле), к осени она снижалась до 6,9 °С. Весной в озерах наблюдался дефицит кислорода (3,2 О₂ мг/л, летом – насыщение от 7,8 О₂ мг/л (озера Туора Кюель и Диринг) до 10,7–18,5 (озера Еленнэх, Аргаа Дегюдей, Кэтит Кюель и Арылах). Содержание СО₂ в озерах к осени снижалось практически до нуля. Высокая концентрация карбонатов свидетельствовала о повышении рН > 8 и формировании озер содового типа. Солевой режим озер гидрокарбонатного класса, группы магния. Вода в озерах среднеминерализованная (до 305,21 мг/л) или

повышенной минерализации (до 821,03 мг/л) и умеренной жесткости (4,0–8,64 мг-экв/л). Перманганатная окисляемость свидетельствовала о высокой концентрации органических веществ, которая превышала предельно допустимую в 2–4 раза, а содержание фосфора – в 15–60 раз. Прозрачность воды во всех озерах была различной: от 0,25–0,3 м (озера Диринг и Юнеля) до 0,9–1,1 м (озера Арылах, Аргаа Дегюдей и Таргыйах). Как правило, термокарстовые (аласные) озера Центральной Якутии из-за вечной мерзлоты мелководные (табл. 1).

Идентификацию водорослей проводили в ИБПК СО РАН с помощью микроскопа Микмед-6 и Olympus.

При составлении систематического списка водорослей термокарстовых озер бассейна р. Татты использовали монографии, сводки и определители (Комаренко, Васильева, 1975; Васильева, 1987; Генкал и др., 2011; Крахмальный, 2011; Харитонов, Генкал, 2012; Медведева, Никулина, 2014; Помазкина, Родионова, 2014; Харитонов, 2014; Генкал и др., 2015; Куликовский и др., 2016; Чудаев, Гололобова, 2016; Волошко, 2017; Генкал, Ярушина, 2018; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Lange-Bertalot, 1988, 1991a, b; Lange-Bertalot, Genkal, 1999; Guiry, Guiry, 2019).

Численность и биомассу водорослей фитопланктона определяли в счетной камере Нажотта объемом 0,01 и 0,05 см³, в 3-кратной повторности. Для санитарно-биологической характеристики исследованных озер использовали индекс сапробности Пантле и Бука (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Индекс сапробности (*S*) рассчитывали для каждой пробы из водоема, затем вычисляли среднее значение индекса для водоема.

Для уточнения принадлежности видов водорослей к той или иной зоне сапробности использовали монографию С.С. Бариновой с соавт. (2006).

Результаты и обсуждение

В термокарстовых озерах бассейна р. Татты обнаружено 384 вида водорослей, представленных 401 ввт из 9 отделов (табл. 2). Основу составляли *Bacillariophyta* – 100 видов (105 ввт), *Chlorophyta* – 90 (96) и *Cyanobacteria* – 86 (89). Менее разнообразно были представлены *Heterokontophyta* – 47 (50), *Charophyta* – 40, *Euglenophyta* – 10, *Myzozoa* – 7. *Cryptophyta* и *Raphidophyta* содержали по 2 вида (рис. 1).

Из 89 семейств, входящих в флористический спектр исследованных озер, ведущими являлись 11 семейств, представленные 155 видами, что составляло 40,4% общего количества обнаруженных видов (см. табл. 2). Это представители 5 отделов: *Bacillariophyta* (36,1%), *Cyanobacteria* (25,2%), *Charophyta* (16,7%), *Chlorophyta* (15,5%) и *Heterokontophyta* (7,1%).

По числу видов их можно ранжировать следующим образом: *Desmidiaceae* (26), *Scenedesmaceae* (24), *Naviculaceae* (17), *Nostocaceae* и *Merismopediaceae* (14 видов каждое), *Oscillatoriaceae* и *Characiopsidaceae* (11 видов каждое), *Gomphonemataceae* и *Bacillariaceae* (10 видов каждое), *Fragilariaceae* и *Cymbellaceae* (9 видов каждое). Многие семейства (37) были представлены лишь 1–2 видами.

Таблица 2. Таксономический состав водорослей термокарстовых озер бассейна р. Татты

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Ввт
<i>Cyanobacteria</i>	1	6	16	40	86	89
<i>Bacillariophyta</i>	3	13	20	30	100	105
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	1	2	2
<i>Heterokontophyta</i>	3	6	15	27	47	50
<i>Charophyta</i>	2	2	6	10	40	40
<i>Raphidophyta</i>	1	1	1	2	2	2
<i>Chlorophyta</i>	2	6	25	49	90	96
<i>Euglenophyta</i>	1	1	2	6	10	10
<i>Myzozoa</i>	1	2	3	7	7	7
Итого	15	38	89	172	384	401

Родовой спектр образован 172 родами, из которых на долю 11 ведущих родов приходилось 108 видов, что составляет 28,1% общего количества видов (см. табл. 3). Это представители отделов: *Bacillariophyta* – 44,4%, *Cyanobacteria* – 27%, *Charophyta* – 15,7%, *Heterokontophyta* – 10,1% и *Chlorophyta* – 8,3%.

По видовому богатству они располагаются так: *Cosmarium* Corda ex Ralfs (17), *Navicula* Bory (15), *Characiopsis* Borzi (11), *Gomphonema* Ehrenberg (10), *Nitzschia* Hassall и *Desmodesmus* (Chodat) S.An, T.Friedl & E.Hegewald (9 видов каждый), *Oscillatoria* Vauch. ex Gomont и *Phormidium* Kützing ex Gomont (8 видов каждый), *Nostoc* Vaucher ex Bornet & Flahault, *Cymbella* C.Agardh и *Pinnularia* Ehrenberg (7 видов каждый). 128 родов были представлены 1–2 видами. В окрестностях пос. Туора Кюель было обследовано 7 термокарстовых озер.

В оз. **Кэтит Кюель** обнаружено 53 вида водорослей из 6 отделов (рис. 2). Среди них часто встречались *Cyanobacteria*: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria granulata* f. *sibirica* V.Poljansky, *O. simplicissima* Gomont, *Phormidium chalybeum* (Mertens ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Chlorophyta*: *Actinastrum hantzschii* Lagerheim, *Desmodesmus maximus* (West & G.S.West) Hegewald и *Euglenophyta*: *Lepocinclis acus* (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian и *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg

В озере наблюдалось «цветение» воды, вызванное *Aphanizomenon flos-aquae* (*Cyanobacteria*). Численность его клеток в конце июня составляла 67,68 млн кл/л при биомассе 2,11 мг/л. Отмечены также индикаторы сапробности воды: *Desmodesmus maximus*, *L. acus*, *M. tenuissima*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvorea* (H.C.Wood) Forti и *T. volvocina*. Преобладали представители β-мезосапробов, средний индекс сапробности составлял 1,9. Как известно, виды *M. aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae* в период наибольшей активности способны продуцировать эндотоксин FDF и токсин SDF (Кондратьева, Коваленко, 1975), поэтому вода в таких озерах не пригодна для использования.

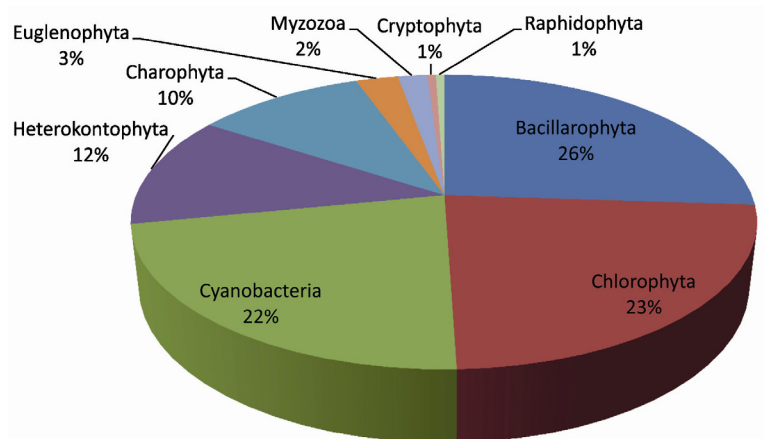


Рис. 1. Спектр флоры водорослей термокарстовых озер бассейна р. Татты

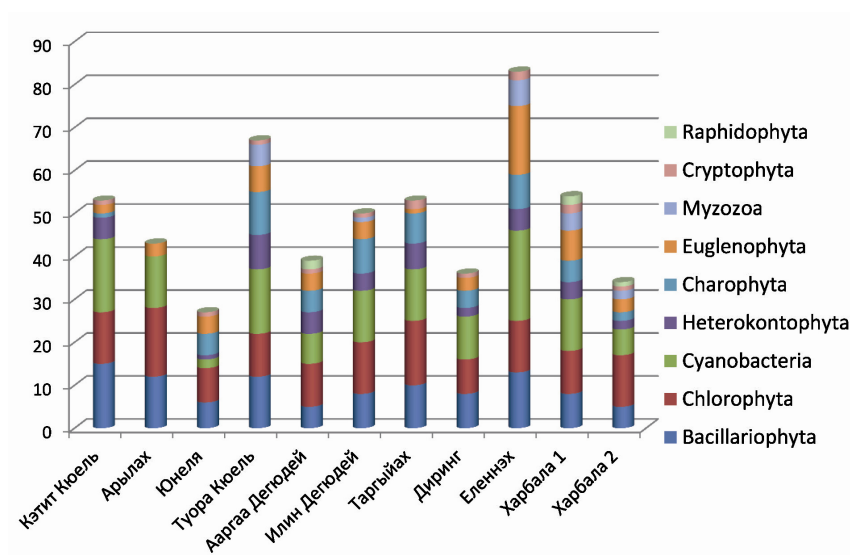


Рис. 2. Состав альгофлоры термокарстовых озер бассейна р. Татты

Озеро **Арылах**. Расположено на правом берегу р. Татты. Температура воды в июле во время взятия проб составляла 20 °С, в сентябре она понизилась до 9–11 °С. Содержание CO₂ составляло почти 30,8 мг/л, O₂ – 18,45 мг/л. Озеро испытывает сильное антропогенное влияние в результате органического загрязнения. В нем обнаружено 43 вида водорослей из 4 отделов, наиболее часто встречались виды *Chlorophyta* (*Desmodesmus maximus*, *D. magnus* (Meyen) Tsarenko, *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová, *Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann, *S. spiralis* (Printz) Korschikov), *Charophyta* (*Closterium jenneri* Ralfs,

Spirogyra varians (Hassall) Kützing), *Cyanobacteria* (*Anabaena flos-aquae* (Lyngbye) Brébisson, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria minima* Gicklhorn), *Euglenophyta* (*Lepocinclis acus*, *Phacus caudatus* Hübner, *Trachelomonas volvocina*) и *Bacillariophyta* (*Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Nitzschia gracilis* Hantzsch) (см. рис. 2). Отмечена сравнительно высокая численность клеток водорослей (10,95 млн кл/л) при достаточно низкой биомассе (0,54 мг/л) в основном за счет *Aphanizomenon flos-aquae* (начало «цветения»). В начале сентября также было отмечено «цветение» воды, но произошла смена доминантного вида, им оказался *Microcystis aeruginosa*. В пробах воды присутствовало значительное количество спор отцветавших видов *Anabaena*. Сопутствующими видами были некоторые представители *Chlorophyta* (*Coelastrum microporum* Nägeli, *Desmodesmus subspicatus* (Chodat) E.Hegewald & A.W.F.Schmidt, *Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg) and *Bacillariophyta* (*Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Cymatopleura solea* (Brébisson) W.Smith, *Gomphonella olivacea* (Hornemann) Rabenhorst, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing). Индекс сапробности составлял 2,2. Данные химического анализа воды свидетельствовали о процессе антропогенного эвтрофирования водоема и среднезагрязненной воде 3-го класса качества.

В оз. **Юнеля** выявлено небольшое количество (22) видов водорослей из 6 отделов (см. рис. 2). Преобладали виды *Cyanobacteria*: *Aphanizomenon flos-aquae* и *Oscillatoria granulata* f. *sibirica*. Массовое развитие *A. flos-aquae* (7,68 млн кл/л, биомасса 0,4 мг/л) подавляло развитие других групп водорослей. Индекс сапробности составлял 2,0. Вода среднезагрязненная, но повышенное содержание кислорода и низкая биомасса водорослей свидетельствовали об активном процессе ее само-очистки.

В оз. **Туора Кюель**, расположенном в окрестности пос. Туора Кюель, содержание кислорода в воде составляло 7,79 мг/л, углекислого газа – 6,2 мг/л. Обнаружено 67 видов водорослей из 6 отделов, преимущественно видами *Chlorophyta* (*Botryosphaera sudetica* (Lemmermann) Chodat, *Desmodesmus maximus*, *Neochloris dissecta* (Korshikov) Tsarenko, *Oocystis lacustris* Chodat, *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) E.Hegewald), *Cyanobacteria* (*Aphanizomenon flos-aquae*, *M. aeruginosa*) и *Euglenophyta* (*Colacium cyclopicola* (J.Gicklhorn) Woronichin & Popova, *Euglena korschikovii* Gojdics) (см. рис. 2). Численность клеток составляла 74,25 млн кл/л, биомасса – 1,0 мг/л. Отмечено массовое развитие представителей рода *Aphanizomenon*. Среди видов-индикаторов сапробности преобладали β-мезосапробы, индекс сапробности составлял 1,73. Вода среднезагрязненная.

В термокартовом оз. **Аргаа Дегюдей** обнаружено 39 видов водорослей из 6 отделов. Отмечено массовое развитие *Cyanobacteria*: *Dolichospermum jacuticum* (Kiselev) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *Aphanizomenon flos-aquae*, *M. aeruginosa*. Обнаружен представитель отдела *Cryptophyta* –

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin, который не встречался в других пойменных озерах. В литорале озера обнаружен *Gonyostomum intermedia* Skuja из отдела *Raphidophyta*, который отмечен впервые для флоры водорослей Якутии и не упоминался ранее (Разнообразие..., 2005; Габышев, Габышева, 2018). Численность клеток составляла 5,9 млн кл/л, биомасса – 1,0 мг/л. Индекс сапробности не превышал 1,68, поэтому воду можно оценить как среднезагрязненную.

В оз. **Илин Дегюдэй** выявлено 42 вида водорослей, среди которых массово развивались представители *Cyanobacteria* (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Oscillatoria simplicissima*) и *Bacillariophyta* (*Anomoeoneis sphaerophora* f. *sculpta* (Ehrenberg) Krammer, *Stauroneis siberica* (Grunow) Lange-Bertalot & Krammer) (см. рис. 2). Численность водорослей составила 4,5 млн кл/л, биомасса – 0,6 мг/л. Индекс сапробности – 2,6, вода среднезагрязненная.

В оз. **Таргыйях** выявлено 62 вида водорослей из 6 отделов (см. рис. 2). Основу составляли представители *Chlorophyta* (*Characiochloris characioides* (Korschikov) Pascher, *Chlorella vulgaris* Beyerinck., *Chlorocloster pachychlams* Pascher, *Desmodesmus maximus*, *Monoraphidium* sp., *Oedogonium* sp., *Oocystis lacustris*, *Pediatrum duplex* Meyen и др.), реже встречались виды *Cyanobacteria* (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont, *Oscillatoria simplicissima*), *Charophyta* (*Cosmarium subarctoum* (Lagerheim) Raciborski), *Bacillariophyta* (*Cymbella neocistula* Krammer) и *Euglenophyta* (*Trachelomonas volvocina*). Показатели численности и биомассы были низкими – 0,8 млн кл/л и 0,2 мг/л соответственно. Индекс сапробности 1,71 свидетельствовал о преобладании β-мезосапробов. Вода среднезагрязненная.

В окрестностях пос. Телей-Диринг исследовано 2 озера термокарстового происхождения.

В оз. **Диринг** обнаружено 36 видов водорослей, массово развивались виды *Cyanobacteria* (*Aphanizomenon flos-aquae*, *O. simplicissima*), *Chlorophyta* (*Tetraëdron minimum*) и *Bacillariophyta* (*Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen). Показатели численности водорослей были высокими (61,64 млн кл/л), биомассы – низкими (0,1 мг/л). Наблюдалось начало «цветения» воды представителем рода *Aphanizomenon flos-aquae*. Индекс сапробности составлял 2,5. На основании химического состава воды, низкого содержания кислорода, биологических показателей воду в озере можно оценить как среднезагрязненную.

В оз. **Еленнэх** обнаружено максимальное количество видов водорослей. Выявлено 83 видов (86, в т.ч. ввт) водорослей из 8 отделов (см. рис. 2): *Cyanobacteria* – 28, *Chlorophyta* – 20, *Euglenophyta* – 16, *Bacillariophyta* – 14, *Heterokontophyta* – 3, *Myzozoa* и *Cryptophyta* по 1 виду соответственно. Доминировали представители *Cyanobacteria*. Наблюдалось «цветение» воды синезелеными водорослями *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa pulvereae*, *Microcystis aeruginosa*.

Кроме видов, вызывающих «цветение», в пробах воды часто встречались и другие представители: *Cyanobacteria* (*Anagnostidinema*

amphibium (C.Agardh ex Gomont) Strunecký et al., *Coelomoron pusillum* (Goor) J.Komárek, *Croococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, *Dactylococcopsis irregularis* G.M.Smith, *Dolichospermum sigmoideum* (Nygaard) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *Gloeocapsopsis magma* (Brébisson) Komárek & Anagnostidis, *Lygbya aestuarii*, *L. fritschii* Anagnostidis, *L. martensiana* Meneghini ex Gomont, *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing, *Oscillatoria simplicissima*, *Phormidium terebriforme* (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Rhabdoderma lineare* (Geitler) Komárek, *Rhabdogloea smithii* (Chodat & F.Chodat) Komárek); *Charophyta* (*Elakatothrix lacustris* Korschikov, *Cosmarium subcrenatum* Hantzsch); *Chlorophyta* (*Chlamydomonas* sp., *Desmodesmus abundans* (Kirchner) E.Hegewald, *D. armatus* var. *longispina* (Chodat) E.Hegewald, *D. maximus*, *D. subspicatus* (Chodat) E.Hegewald & A.Schmidt, *Monoraphidium komarkovae* Nygaard, *Pediastrum duplex*, *Tetraëdron minimum*, *T. triangulare* Korschikov, *Tetrastrum staurogeniaeforme* (Schröder) Lemmermann); *Euglenophyta* (*Euglena limnophila* Lemmermann, *E. oxyuris* Schmarida, *Lepocinclis elongata* (Swirenko) W.Conrad, *Menoidium minimum* Matvienko, *Phacus caudatus*, *Trachelomonas volvocinopsis* Swirenko); *Bacillariophyta* (*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *A. italica*, *Fragillaria crotonensis* Kitton, *Melosira varians* C.Agardh); *Cryptophyta* (*Ceratium hirundinella*); *Heterokontophyta* (*Dinobryon divergens* var. *angulatum* (Seligo) Brunthaler, *Kephyrion cordatum* (Hilliard) Starmach, *Ophiocytium maximum* Borzi emend. Pascher); *Myzozoa* (*Gymnodinium uberrimum* (Allman) Kofoid & Swezy).

В оз. Еленнэx обнаружено 4 вида водорослей, новых для флоры Якутии: *Anabaena Jonssonii*, *Gomphosphaeria cordiformis* (Cyanobacteria) и *Elakatothrix lacustris* (Charophyta). Численность клеток составляла 107,1 млн кл/л, биомасса – 0,6 мл/л. Выявлено 48 видов водорослей-индикаторов сапробности, принадлежащих в основном к β-мезосапробам, индекс сапробности составлял 2,7.

В окрестности пос. Харбала было исследовано 2 термокарстовых озера.

Озеро **Харбала 1**. Расположено на правом берегу р. Татты. Сильно зарастает макрофитами. В нем выявлено 53 вида водорослей. В отличие от других озер, здесь обильно развиваются *Chlorophyta* (*Coelastrum sphaericum*, *D. maximus*, *Sphaerocystis planctonica*, *Tetraëdron minimum* и др.) и *Charophyta* (*Cosmarium didymoprotupsum* W. & G.S.West, *Staurastrum gracile* Ralfs. Отмечены также бентосные *Bacillariophyta* (*Cocconeis placentula*, *Cymbella neocistula*, *Encyonema minutum* var. *hankensis* (Skvortzov & A.Meyer) Kharitonov, *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Gomphonella olivacea*, *G. truncatum*, *Navicula radiosa* Kützing, *Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot, *Stauroneis anceps* Ehrenberg, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère и др.). Обнаружены формы и вариации видов *Bacillariophyta*, которые ранее не встречались во флоре Якутии: *Surirella elegans* f. *constricta* и *Stauroneis phoenicenteron* var. *brevis*

(Разнообразие..., 2005; Габышев, Габышева, 2018; Potapova et al., 2014; Genkal, Gabyshev, 2018; Genkal et al., 2018).

Озеро **Харбала 2**. Также расположено на правом берегу р. Татты. В пробах воды обнаружено 32 вида водорослей. Отмечено обильное развитие *Chlorophyta* (до 1240 тыс. кл/л). Часто встречались виды *Chlorophyta* (*Coelastrum microporum*, *C. sphaericum*, *Heleochloris pallida* Korschikov, *Desmodesmus maximus*, *D. opoliensis* var. *alatus* (N.Dedusenko-Shchegoleva) E.Hegewald, *Pediastrum duplex*, *P. praecox* Morozova-Vodyanitskaya, *P. simplex* Meyen, *Pseudopediastrum boryanum*, *Sphaericystis schroederi*, *Tetrademus lagerheimii* M.J.Wynne & Guiry, *Tetraëdron minimum*), *Cyanobacteria* (*Coelosphaerium pulchellum*, *Chlorogloea microcystoides* Geitler, *Merismopedia glauca*) и *Bacillariophyta* из родов *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula* и *Nitzschia*.

Выводы

В первой декаде августа во всех термокарстовых озерах бассейна р. Татты в Центральной Якутии интенсивно развивались представители отдела *Cyanobacteria* – *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*, которые ингибируют развитие других групп водорослей, вызывая «цветение» воды. Эти водоросли хорошо развиваются в условиях повышенного содержания нитратов, аммиака, органического и свободного азота, а также соединений серы и фосфора. Они токсичны, особенно *M. aeruginosa*, их токсины опасны для человека и животных. Численность водорослей в озерах достаточно высокая, особенно в озерах Кэтит Кюель (67,7 млн кл/л) и Туора Кюель (74,2 млн кл/л) при сравнительно высокой биомассе, соответственно, 2,1 и 1,0 мг/л.

В большинстве озер отмечено повышенное содержание кислорода, что указывает на интенсивные процессы самоочищения. Поскольку озера имеют термокарстовое происхождение, состав альгофлоры в них приблизительно сходный. Коэффициент сходства по Жаккару 0,8. Среди водорослей, обнаруженных в озерах, выявлено около 50% видов-индикаторов сапробности, которые в основном относятся к β -мезо-сапробам. С учетом химических и биологических показателей и индекса сапробности озера можно считать эвтрофными и высоко-эвтрофными, а воду в них – среднезагрязненной.

Список водорослей среднетаежных термокарстовых (аласных) озер Центральной Якутии дополнен 4 видами водорослей и 2 вариациями и формами уже известных видов, ранее не встречавшихся во флоре водорослей Якутии. Это представители *Cyanobacteria* (*Anabaena jonssonii*, *Gomphosphaeria cordiformis*), *Raphidophyta* (*Gonyostomum intermedia*), *Bacillariophyta* (*Surirella elegans* f. *constricta*, *Stauroneis phoenicenteron* var. *brevis*) и *Charophyta* (*Elakatothrix lacustris*).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБПК СО РАН «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (№ 0376-2019-0003 АААА-А17-117020110056-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Pil. Stud. 498 с.
- Васильева И.И. 1987. *Пресноводные эвгленовые и желтозеленые водоросли водоемов Якутии*. Л.: Наука. 265 с.
- Васильева И.И. 1989. *Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии*. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО АН СССР. 48 с.
- Водоросли: Справочник*. 1989. Киев: Наук. думка. 608 с.
- Волошко Л.Н. 2017. *Золотистые водоросли водоемов Севера России*. СПб.: Реноме. 380 с.
- Габышев В.А., Габышева О.И. 2018. *Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири*. Под ред. Л.Г. Корневой. Новосибирск: СибАК. 414 с.
- Генкал С.И., Бондаренко Н.А., Щур Л.А. 2011. *Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири*. Рыбинск: Рыбин. дом печати. 72 с.
- Генкал С.И., Чекръжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. *Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии*. М.: Науч. мир. 202 с.
- Генкал С.И., Ярушина М.И. 2018. *Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири*. М.: Науч. мир. 212 с.
- Голлербах М.М., Полянский В.И. 1951. *Пресноводные водоросли и их изучение*. Вып. 1. М.: Сов. наука. 178 с.
- Иванова А.П. 2007. *Фитопланктон аласных озер*. В кн.: *Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды*. Минск: Изд-во БГУ. С. 141–142.
- Иванова А.П. 2008. *Фитопланктон озера Нал-Тюнгиюлю (Якутия)*. В кн.: *Современное состояние водных биоресурсов*. Новосибирск: Агрос. С. 19–21.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1975. *Пресноводные диатомовые и синезеленые водоросли водоемов Якутии*. М.: Наука. 423 с.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И., Ремигайло П.А. 1972. *Водоросли бассейна реки Татты*. В кн.: *Ботанические исследования в Якутии*. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР. С. 90–108.
- Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. 1975. *Краткий определитель видов токсических синезеленых водорослей*. Киев: Наук. думка. 81 с.
- Крахмальний А.Ф. 2011. *Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель)*. Киев: Альтерпрес. 444 с.
- Куликовский М.С., Глушенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. 2016. *Определитель диатомовых водорослей России*. Ярославль: Филигрань. 804 с.

- Медведева Л.А., Никулина Т.В. 2014. *Каталог пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России*. Владивосток: Дальнаука. 271 с.
- Пестрякова Л.А. 2009. *Закономерности развития озер Якутии и их современное состояние: по материалам диатомового анализа донных отложений*: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Санкт-Петербург. 40 с.
- Помазкина Г.В., Родионова Е.В. 2014. *Диатомовые водоросли семейства Cymbellaceae озера Байкал: Атлас-определитель*. Новосибирск: Наука. 242 с.
- Пшенникова Е.В. 1994. *Водоросли аласов Лено-Амгинского междуречья*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 17 с.
- Пшенникова Е.В. 2003. Водоросли аласных озер Центральной Якутии. В кн.: *Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды*: Мат. II Междунар. науч. конф. Минск, Нарочь. С. 337–339.
- Разнообразие растительного мира Якутии*. 2005. Отв. ред. Н.С. Данилова. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 328 с.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем*. 1992. Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоздат. 318 с.
- Трофимова Т.П. 2007. Формирование гидрохимического состава разнотипных озер Центральной Якутии. *Наука и образование*. (4): 131–133.
- Харитонов В.Г. 2014. *Диатомовые водоросли Колымы*. Магадан: Кордис. 496 с.
- Харитонов В.Г., Генкал С.И. 2012. *Диатомовые водоросли озера Эльгыгытгын и его окрестностей (Чукотка)*. Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 402 с.
- Чудаев Д.А., Гололобова М.А. 2016. *Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область)*. М.: Тов-во науч. изданий КМК. 447 с.
- Genkal S.I., Gabyshev V.A. 2018. New records of centric diatoms from Yakutia (Lake Bolshoe Toko): SEM morphology, ecology and distribution. *Novosti sistemat. nizshikh rast.* 52(2): 245–252.
- Genkal S., Gabyshev V., Kulilovskiy M., Kuznetsova I. 2018. *Pliocaenicus bolshetokoensis* – a new species from Lake Bolshoe Toko (Yakutia, Eastern Siberia, Russia). *Diatom Res.* 33: 145–153.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2019. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag. 876 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. *Bacillariophyceae*. Teil 3: *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. *Bacillariophyceae*. Teil 1: *Naviculaceae. Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*; Gesamtliteraturverzeichnis. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 S.
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms from Siberia. I.: Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). *Iconogr. Diatomol.* 6: 1–271.

- Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserbach*. 96(18): 1–604.
- Potapova M.G., Hamilton P.B., Kopyrina L.I., Sosina N.K. 2014. New and rare diatom (*Bacillariophyta*) species from a mountain lake in Eastern Siberia. *Phytotaxa*. 3(156): 100–116.
- Sládeček V. 1973. *System of Water quality*. Archiv für Hydrobiologie – Beiheft: Ergebnisse Limnol. Heft 7. Stuttgart. 218 p.

Поступила 06.07.2019

Подписал в печать С.И. Генкал

REFERENCES

- Algae: Reference Book*. 1989. Eds S.P. Wasser. Kiev: Naukova Dumka. 608 p. [Rus.]
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. *Diversity of Algal Indicators in Environmental Assessment*. Tel-Aviv: Pil. Stud. 498 p.
- Chudaev D.A., Gololobova M.A. 2016. *Diatoms of Lake Glubokogo (Moscow Region)*. Moscow: Sci. Press Ltd. 447 p. [Rus.]
- Diversity of the plant world of Yakutia*. 2005. Ed. N.S. Danilova. Novosibirsk: SO RAN Press. 328 p. [Rus.]
- Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. *Phytoplankton of largest rivers of Yakutia and adjacent territories of Eastern Siberia*. Novosibirsk. SibAC. 414 p. [Rus.]
- Genkal S.I., Bondarenko N.A., Shchur L.A. 2011. *Diatoms of the lakes of the south and north of Eastern Siberia*. Rybinsk: Print House. 72 p. [Rus.]
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulajnen S.F. 2015. *Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia*. Moscow: Nauch. mir. 202 p. [Rus.]
- Genkal S.I., Gabyshev V.A. 2018. New records of centric diatoms from Yakutia (Lake Bolshoe Toko): SEM morphology, ecology and distribution. *Novosti sistemat. nizshikh rast.* 52(2): 245–252.
- Genkal S., Gabyshev V., Kulilovskiy M., Kuznetsova I. 2018. *Pliocaenicus bolshetokoensis* – a new species from Lake Bolshoe Toko (Yakutia, Eastern Siberia, Russia). *Diatom Res.* 33: 145–153.
- Genkal S.I., Yarushina M.I. 2018. *Diatom algae of poorly studied aquatic ecosystems of the Far North of Western Siberia*. Moscow: Nauch. mir. 212 p. [Rus.]
- Gollerbah M.M., Polyanskij V.I. 1951. *Freshwater algae and their study*. Moscow: Sov. nauka. 178 p. [Rus.]
- Guidance on hydrobiological monitoring of surface ecosystems*. Ed. V.A. Abakumova. 1992. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. 318 p. [Rus.]
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2019. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.
- Haritonov V.G. 2014. *Diatoms of Kolyma*. Magadan: Kordis. 496 p. [Rus.]
- Haritonov V.G., Genkal S.I. 2012. *Diatoms of Elgygytgyn Lake and its Vicinities (Chukotka)*. Magadan. 402 p. [Rus.]
- Ivanova A.P. 2007. In: *Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation and water quality*. Minsk: BGU. Pp. 141–142. [Rus.]
- Ivanova A.P. 2008. In: *The current state of aquatic biological resources*. Novosibirsk: Agros. Pp. 19–21. [Rus.]

- Komarenko L.E., Vasilyeva I.I. 1975. *Freshwater diatoms and blue-green algae of the water bodies of Yakutia*. Moscow: Nauka. 423 p. [Rus.]
- Komarenko L.E., Vasilyeva I.I., Remigailo P.A. 1972. In: *Botanical research in Yakutia*. Yakutsk: YaF SO AN SSSR. Pp. 90–108. [Rus.]
- Kondratyeva N.V., Kovalenko O.V. 1975. *Brief guide for identification of toxic blue-green algae*. Kiev: Naukova Dumka. 81 p. [Rus.]
- Krakhmalnyi A.F. 2011. *Dinophyta of Ukraine (illustrated identification manual)*. Kiev: Alterpress. 444 p. [Rus.]
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag. 876 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. *Bacillariophyceae*. Teil 3: *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. *Bacillariophyceae*. Teil 1: *Naviculaceae. Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*; Gesamtliteraturverzeichnis. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 437 S.
- Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznecova I.V. 2016. *Identification book of diatoms from Russia*. Yaroslavl: Filigran. 804 p. [Rus.]
- Lange-Bertalot H., Genkal S.I. 1999. Diatoms from Siberia. I. Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). *Iconogr. Diatomol.* 6: 1–271.
- Medvedeva L.A., Nikulina T.V. 2014. *Catalogue of freshwater algae of the southern part of the Russian Far East*. Vladivostok: Dalnauka. 271 p. [Rus.]
- Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserbach.* 96(18): 1–604.
- Pestryakova L.A. 2009. *Patterns of development of lakes in Yakutia and their current state: based on diatom analysis of bottom sediments*: Dr. Sci. (Geogr.). Abstract. St. Petersburg. 40 p. [Rus.]
- Pomazkina G.V., Rodionova E.V. 2014. *Diatoms of the family Cymbellaceae of Lake Baikal: Atlas and key*. Novosibirsk: Nauka. 242 p. [Rus.]
- Pshennikova E.V. 1994. *Algae of alases of the interfluvial area between the Lena and Amga rivers*: PhD (Biol.). Abstract. Novosibirsk. 17 p. [Rus.]
- Pshennikova E.V. 2003. In: *Proceedings of II Int. Sci. Conf. "Lake Ecosystems: Biological Processes, Anthropogenic Transformation, Water Quality"*. Minsk, Naroch. Pp. 337–339. [Rus.]
- Potapova M.G., Hamilton P.B., Kopyrina L.I., Sosina N.K. 2014. New and rare diatom (*Bacillariophyta*) species from a mountain lake in Eastern Siberia. *Phytotaxa.* 3(156): 100–116.
- Sládeček V. 1973. *System of Water quality*. Archiv für Hydrobiologie – Beiheft: Ergebnisse Limnol. Heft 7. Stuttgart. 218 S.
- Trofimova T.P. 2007. Formation of the hydrochemical composition of heterogeneous lakes in Central Yakutia. *Sci. and Educat.* (4): 131–133.

- Vasilieva I.I. 1987. *Freshwater Euglenoid and Yellow-green Algae of the Water Bodies of Yakutia*. Leningrad: Nauka. 265 p. [Rus.]
- Vasilieva I.I. 1989. *Analysis of the species composition and dynamics of the development of algae in water bodies of Yakutia*. Yakutsk: YANTS Publ. SB USSR Acad. Sci. 48 p. [Rus.]
- Voloshko L.N. 2017. *Chrysophycean algae in water bodies of the Northern Russia*. St. Petersburg: Renome. 380 p. [Rus.]

Pshennikova E.V.¹, Kopyrina L.I.²

¹Medical Institute, North-Eastern Federal University,
27 Oyunskogo St., Yakutsk 677000, Russia

²Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of RAS,
41 Lenina Ave., Yakutsk 677000, Russia

Algae of thermokarst lakes of the Tatta River basin (Central Yakutia, Russia)

The paper presents data on the diversity of algal flora of thermokarst lakes located in the Tatta River basin (Lena-Aldan interfluvium) in Central Yakutia. A total of 384 species (401 intraspecific taxa) were identified. They belong to nine divisions: *Bacillariophyta* – 100 (105), *Chlorophyta* – 90 (96), and *Cyanobacteria* – 86 (89) lead in species diversity. *Heterokontophyta* – 47 (55) and *Charophyta* (40) were less diverse, followed by *Euglenozoa* (10) and *Myzozoa* (7). *Cryptophyta* and *Raphidophyta* were represented by two species each. *Bacillariophyta* dominated in species diversity, while cyanobacteria had the highest quantitative indicators. Its representatives, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet et Flahault and *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, caused water bloom in the studied lakes. It was found that with an increase in the algal number and biomass, indicators of biological pollution of water increase, and its quality deteriorates. In all studied lakes we recorded species-indicators of water saprobity related to β - α -mesosaprobites; the saprobity index ranged from 1.6–2.8. Based on biological analysis, taking into account the chemical parameters, the water of the lakes can be considered eutrophic and moderately polluted. Among taxa identified in thermokarst lakes of the Tatta River basin, four species and two intraspecific taxa are first cited for the algal flora of Yakutia. They include representatives of *Cyanobacteria* (*Anabaena jonssonii* B.-Peters, *Gomphosphaeria cordiformis* (Wille) Hansgirg), *Raphidophyta* (*Gonyostomum intermedia* Skuja), *Bacillariophyta* (*Surirella elegans* f. *constricta* A. Mayer, *Stauroneis phoenicenteron* var. *brevis* (Dipp.) Hustedt), and *Charophyta* (*Elakatothrix lacustris* Korschik.).

Key words: thermokarst lakes, Central Yakutia, algae, species diversity, number, biomass, saprobity, water quality, water bloom