

УДК 582.261/279(571.513)

Видовой состав цианопрокариот озера Алтайское (Республика Хакасия)

The species composition of the Cyanoprocaryota of Lake Altaiskoe (Khakasia Republic)

Макеева Е. Г.¹, Осипова Н. В.²

Makeeva E. G.¹, Osipova N. V.²

¹ Государственный природный заповедник «Хакасский», Хакасский государственный университет им. Катанова, г. Абакан, Россия E-mail: meg77@yandex.ru

² Хакасский государственный университет им. Катанова, г. Абакан, Россия E-mail: nato129@mail.ru

¹ «Khakassky» State Nature Reserve, Khakass State University by Katanov, Abakan, Russia

² Khakass State University by Katanov, Abakan, Russia

Реферат. В статье представлены данные о видовом составе цианопрокариот соленого оз. Алтайское, расположенного в степной зоне Республики Хакасия. В озере выявлено 34 вида цианопрокариот. Показано распределение видов по группам активности, согласно их относительной частоты встречаемости. Рассмотрена видовая структура сообществ фитопланктона, фитобентоса, фитоперифитона. Доминирующим видом во всех альгологических сообществах являлась *Arthrospira fusiformis*, вызывающая «цветение» воды озера в летний период.

Summary. The article presents data on the species composition of cyanoprocaryota of salt lake Altaiskoe. This lake is located in the steppe zone of the Republic of Khakasia. In the lake 34 species of cyanoprocaryota is revealed. The distribution of species into the activity groups is shown, according to their relative incidence. The species structure of phytoplankton, phytobenthos, phytoperiphyton communities is considered. The *Arthrospira fusiformis* is dominant species in all algal communities, which causes a «flowering» of lake water in the summer.

Озеро Алтайское (Куринка) расположено на территории Назарово-Минусинской межгорной впадины, в Южно-Минусинской котловине, в Койбальской степи (Мистрюков, 1991), в 35 км южнее г. Абакана. Озеро продолговатой формы, разделено мелководным перешейком на Алтайское 1 (малый плес) и Алтайское 2 (большой плес). По данным Google Earth Pro на сентябрь 2016 г. длина озера составляла 3,43 км, ширина – 1,14 км, площадь – 2,67 км². Максимальная глубина оз. Алтайское 1–1,8 м, Алтайское 2–2,2 м. Минерализация воды оз. Алтайское 1–30 г/л, Алтайское 2–33,4 г/л (Клопотова, 2004). Согласно нашим исследованиям соленость оз. Алтайское 2 на 12.06.2017 г. – 42,7 г/л, pH среды – 9,5. По составу вода озера сульфатно-хлоридная натриевая щелочная. Озеро бессточное, пополняется за счет атмосферных осадков и грунтовых вод верхнедевонских отложений (Энциклопедия Республики Хакасия, 2007). Берега преимущественно песчаные, песчано-илистые, местами топкие. Донные отложения озера соответствуют среднесульфидным высокоминерализованным иловым лечебным гязям (Клопотова, 2004). Вода обычно имеет невысокую прозрачность, с заметным запахом сероводорода (Кривошеев, 1991).

Отбор альгологических проб проводился 12.06. и 15.07.2017 г. Всего собрана и обработана 31 проба планктона, бентоса, перифитона с четырех пунктов отбора, расположенных на большом и малом плесах. Пробы отбирали и обрабатывали по общепринятым методикам (Руководство..., 1983; Водоросли, 1989). Материал фиксировали 4 % раствором формалина, часть проб – глицерином. Определение видового состава проводилось с помощью светового микроскопа «Olympus CX41». Идентификацию водорослей осуществляли, используя отечественные и иностранные определители (Голлербах и др., 1953; Komarek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komarek, 2013). Сведения об экологической принадлежности водорослей приведены по работе С. С. Бариновой и др. (2006).

В оз. Алтайское за период исследования обнаружено 34 вида синезеленых водорослей (табл.), принадлежащих 20 родам, 12 семействам, 5 порядкам. Цианопрокариоты были представлены порядками: Oscillatoriales, Spirulinales, Nostocales, Synechococcales, Chroococcales. Наиболее разнообразными в видовом отношении являлись семейства: Oscillatoriaceae (6 видов), Spirulinaceae (5), Microcoleaceae и Nostocaceae (4); по 3 вида в семействах Leptolyngbyaceae, Pseudanabaenaceae, Merismopediaceae; семейство Synechococcaceae содержит 2 вида; по одному виду в семействах Coleofasciculaceae, Heteroleibleiniaceae, Coelosphaeriaceae, Chroococcaceae. Ведущие рода: *Phormidium*, *Spirulina* (по 5 видов).

Таблица

Эколого-географическая характеристика цианопрокариот оз. Алтайское

Таксон	M	Г	A	C	P
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C. Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R. Johansen et J. Komárek	P-B, S	gl	?	o-α	k
<i>Anathece clathrata</i> (W. West et G.S. West) Komárek, Kastovsky et Jezberová	P	gl	i	β	k
<i>Arthrospira fusiformis</i> (Voronikhin) Komárek et J.W.G. Lund	P	mg	?	β	b, mt, sa, sz
<i>Arthrospira jenneri</i> Stizenberger ex Gomont	P-B	?	?	p	k
<i>Arthrospira maxima</i> Setchell et N.L. Gardner	P	mg	?	β-α	Ha, Pt
<i>Chroococcus turgidus</i> var. <i>maximus</i> Nygaard	Ep	i	?	?	k
<i>Heteroleibleinia kuetzingii</i> (Schmidle) Compère	B	?	?	o-β	k
<i>Jaaginema geminatum</i> (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis et Komárek	P-B	i	?	?	k
<i>Leibleinia epiphytica</i> (Hieronymus) Compère	Ep	pg	?	o	k
<i>Leptolyngbya valderiana</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek	B, S	?	?	o	k
<i>Limnothrix guttulata</i> (Goor) I. Umezaki et M. Watanabe	P-B	?	?	α	Ha
<i>Nostoc linckia</i> Bornet ex Bornet et Flahault	?	?	?	o-α	?
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot	P-B, S	?	?	β-o	k
<i>Oscillatoria tenuis</i> C. Agardh ex Gomont	P-B, S	gl	i	β-α	k
<i>Oxynema lloydianum</i> (Gomont) Chatchawan, Komárek, Strunecky, Smarda et Peerapornpisal	?	?	?	?	?
<i>Phormidesmis molle</i> (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková et Komárek	B, S	i	?	o-α	k
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gomont) Anagnostidis et Komárek	P-B, S	?	?	?	Ha
<i>Phormidium breve</i> (Kützing ex Gomont) Anagnostidis et Komárek	P-B, S	gl	?	β-p	k
<i>Phormidium dimorphum</i> Lemmermann	?	?	?	?	?
<i>Phormidium terebriforme</i> (C. Agardh ex Gomont) Anagnostidis et Komárek	B, S	?	?	β-p	k
<i>Phormidium variabile</i> (Wille) Anagnostidis et Komárek	?	?	?	?	?
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	P-B	?	?	β-p	Ha, Pt
<i>Spirulina major</i> Kützing ex Gomont	P, S	pg	?	α	k
<i>Spirulina meneghiniana</i> Zanardini ex Gomont	?	?	?	?	?
<i>Spirulina subtilissima</i> Kützing ex Gomont	P-B	gl	alf	?	k
<i>Spirulina tenerrima</i> Kützing ex Gomont	?	?	?	?	?
<i>Spirulina tenuissima</i> Kützing	B	mg	?	o-β	k
<i>Synechococcus salinarum</i> Komárek	?	?	?	?	?
<i>Synechocystis crassa</i> Woronichin	P	gl	alf	?	b
<i>Synechocystis salina</i> Wislouch	P	gl	?	?	k
<i>Synechocystis sallensis</i> Skuja	?	?	?	?	?

Таблица (окончание)

<i>Trichormus pseudovariabilis</i> (Woronichin) Komárek et Anagnostidis	?	?	?	?	?
<i>Trichormus reverdattoanus</i> (T.G. Popova et M. Degterieva) Komárek et Anagnostidis	?	?	?	?	?
<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin	P	?	?	o-α	?

Примечание. Приуроченность к местообитанию (M): P – планктонный; B – бентосный в широком смысле, связанный с субстратом; Ep – эпифит; S – почвенный, наземные субстраты. Галобность (Г): pg – полигалоб; mg – мезогалоб; i – индифферент; gl – галофил. Ацидофильность (А): i – индифферент; alf – алкалофил. С – сапробность: o – олигосапроб, β – бетамезосапроб, α – альфамезосапроб, ρ – полисапроб. P – распространение, географическая приуроченность: Na – представитель голарктического царства, Pt – представитель палеотропического царства, b – бореальный, k – космополит, mt – средиземноморский, sa – сахаро-аравийский; sz – судано-замбезийский. ? – таксоны, малоизученные в экологическом и географическом отношениях.

С целью получения сравнительных числовых характеристик, раскрывающих значение отдельных видов цианопрокариот оз. Алтайское, определена относительная частота встречаемости видов. На ее основе виды распределены по группам активности. К группе особо активных видов, с частотой встречаемости 100 % относится *Arthrospira fusiformis*. В группу среднеактивных видов, с частотой встречаемости 49–23 % вошли *Oscillatoria tenuis* и *Spirulina major*. Группа малоактивных (22–5 %) представлена следующими видами: *Arthrospira jenniferi*, *Phormidium terebriforme*, *P. boryanum*, *P. breve*, *P. variabile*, *Spirulina tenuissima*, *S. meneghiniana*, *Trichormus pseudovariabilis*, *T. reverdattoanus*, *Leptolyngbya valderiana*, *Heteroleibleinia kuetzingii*, *Limnothrix guttulata*, *Anathece clathrata*, *Synechocystis salina*, *Woronichinia naegeliana*. Неактивные виды (с частотой встречаемости < 5 %) составили 47 % от общего количества видов.

В планктоне присутствовали 10 видов цианопрокариот: *Arthrospira fusiformis*, *A. jenniferi*, *A. maxima*, *Oscillatoria tenuis*, *Phormidium terebriforme*, *P. boryanum*, *Spirulina major*, *S. meneghiniana*, *Synechococcus salinarum*, *Woronichinia naegeliana*. По всему озеру в составе летнего фитопланктона доминировала *Arthrospira fusiformis*, причем ее массовое развитие наблюдалось с июня, достигая «цветения» в июле.

В пробах, собранных с донных грунтов отмечено 24 вида цианобактерий: *Arthrospira fusiformis*, *A. jenniferi*, *Oxynema lloydianum*, *Oscillatoria tenuis*, *Phormidium terebriforme*, *P. breve*, *P. dimorphum*, *P. variabile*, *Spirulina major*, *S. tenuissima*, *S. tenerrima*, *S. meneghiniana*, *S. subtilissima*, *Phormidesmis molle*, *Leptolyngbya valderiana*, *Heteroleibleinia kuetzingii*, *Pseudanabaena catenata*, *Limnothrix guttulata*, *Jaaginema geminatum*, *Synechococcus salinarum*, *Anathece clathrata*, *Synechocystis salina*, *S. sallensis*, *Woronichinia naegeliana*; преобладали *Arthrospira fusiformis* и *A. jenniferi*. Наибольшее число видов (21) обнаружено в бентосе малого плеса (оз. Алтайское 1). В грунтах большого плеса (оз. Алтайское 2) присутствовало всего 8 видов цианопрокариот. Выявлена закономерность уменьшения разнообразия цианопрокариот с увеличением глубины отбора проб: урез воды – 17 видов, на глубине 10 см – 10 видов, на 50 см – 8 видов, на 1 м – 4 вида (*Arthrospira fusiformis*, *Oscillatoria tenuis*, *Spirulina major*, *Woronichinia naegeliana*).

В перифитонных пробах зарегистрировано 14 видов цианобактерий: *Arthrospira fusiformis*, *Oscillatoria tenuis*, *Spirulina major*, *S. tenuissima*, *S. meneghiniana*, *Trichormus pseudovariabilis*, *T. reverdattoanus*, *Nostoc linckia*, *N. punctiforme*, *Leibleinia epiphytica*, *Heteroleibleinia kuetzingii*, *Anathece clathrata*, *Synechocystis salina*, *S. crassa*. На *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. обнаружено 8 видов цианобактерий, на *Potamogeton pectinatus* L. – 6, на *Carex sp.* – 2, на *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. – 3. В обрастающих тростника и рдеста доминировала *Arthrospira fusiformis*.

Доминант альгоценозов оз. Алтайское – *Arthrospira fusiformis* встречается в водах с разным уровнем солености, что демонстрирует способность вида адаптироваться к пресноводным щелочным условиям, а также к соленым щелочным и даже к гипергалинным средам (Dadheech et al., 2010). Среди пресноводных экосистем, в составе альгоценозов которых находится *Arthrospira fusiformis*, следует отметить реки северного и центрального Изаила (Barinova, Anissimova et al., 2004; Barinova, Tavassi

et al., 2009). Вид активно развивается в некоторых соленых щелочных озерах Африки (Кения, Эфиопия, Танзания, Уганда, Чад), Азии (Турция, Индия), Центральной Америки (Мексика), Европы (Сербия) (Schagerl et. al., 2015). В Сибири данный вид отмечен в гипертрофном оз. Соленом, расположенном на территории Омска, в летне-осенний период также вызывающий «цветение» воды (Баженова и др., 2014).

По приуроченности к местообитанию большинство видов синезеленых водорослей оз. Алтайское являлось эвриотными: 5 видов относилось к планктонно-бентосным, почвенным, 5 – к планктонно-бентосным, отмечено 6 планктонных видов, присутствовали бентосные и почвенные виды (3), бентосные (2), эпифиты (2), планктонные и почвенные (1), для 9 видов местообитание не определено (табл.).

Среди водорослей-индикаторов солености воды преобладали галофилы (7 видов), отмечено по 3 вида мезогалобов и индифферентов, присутствовали полигалобы (2 вида). Для 18 видов отношение к солености не установлено.

Ацидофильность известна лишь для четырех видов, два из которых представлены индифферентами и два алкалифилами.

Из 34 видов цианопрокариот, зарегистрированных в озере, 55,9 % являются видами-сапробионтами. Группы полисапробов и β -о-мезосапробов содержат по одному виду; олигосапробы, о- β -мезосапробы, β -мезосапробы, α -мезосапробы, β - α -мезосапробы, представлены двумя видами; β -р-сапробы – тремя; о- α -мезосапробы включают четыре вида. Значительная часть видов-индикаторов (36,8 %) является показателями высокой степени органического загрязнения.

Разнообразие цианопрокариот оз. Алтайское по географическому распространению высокое – включает представителей Голарктического (бореальные, средиземноморские, сахаро-аравийские виды) и Палеотропического (судано-замбейские виды) царств. Однако половина зарегистрированных цианобактерий имеет широкое географическое распространение (относится к видам-космополитам).

ЛИТЕРАТУРА

- Баженова О. П., Кренц О. О., Коржова Л. В., Барсукова Н. Н., Коновалова О. А.** Суанопрокариота в планктоне рек и озер Омского Прииртышья (Россия) // Альгология, 2014. – № 24 (2). – С. 209–221.
- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В.** Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
- Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Голлербах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И.** Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Советская наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
- Клопотова Н. Г.** Гидроминеральные лечебные ресурсы озер Минусинской котловины: дис. ... канд. геогр. наук, Томск, 2004. – 198 с.
- Кривошеев А. С.** Лечение и отдых на озерах Красноярского края. – Красноярск: МП «Красноярск», 1991. – 93 с.
- Мистрюков А. А.** Геоморфологическое районирование Назаровско-Минусинской межгорной впадины. – Новосибирск: ОИГГМ СО АН СССР, 1991. – 130 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.
- Энциклопедия Республики Хакасия: В 2 т. / Под ред. В. А. Кузьмина. – Красноярск: Поликор, 2007. –Т. 1: А–Н. – 432 с.
- Barinova S. S., Anissimova O. V., Nevo E., Jarygin M. M., Wasser S. P.** Diversity and ecology of algae from the Nahal Qishon river, northern Israel // Plant Biosystems, 2004. – Vol. 138. – № 3. – P. 245 – 259.
- Barinova S. S., Tavassi M., Nevo E.** Study of seasonal influences on algal biodiversity in the River Yarqon (central Israel) by bio-indication and canonical correspondence analysis (CCA) // Turkish Journal of Botany, 2009. – № 33. – P. 353–372.
- Dadheech P. K., Ballot A., Casper P., Kotut K., Novelo E., Lemma B., Pröschold T., Krienitz L.** Phylogenetic relationship and divergence among planktonic strains of *Arthrospira* (Oscillatoriales, Cyanobacteria) of African, Asian and American origin deduced by 16S-23S ITS and phycocyanin operon sequences // Phycologia, 2010. – № 49 (4). – P. 361–372.

Komarek J. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserlora von Mitteleuropa. – Berlin; Heidelberg: Springer Spektrum, 2013. – Bd. 19/3. – 1130 p.

Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota. 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserlora von Mitteleuropa. – Heidelberg; Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1998. – Bd. 19/1. – 548 p.

Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota. 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserlora von Mitteleuropa. – München: Spektrum Akademischer Verlag, 2005. – Bd. 19/2. – 759 p.

Schagerl M., Burian A., Gruber-Dorninger M., Oduor S. O., Kaggwa M. N. Algal communities of Kenyan soda lakes with a special focus on *Arthrospira fusiformis* // Fottea, Olomouc. – 2015. – № 15 (2). – P. 245–257.