

УДК 582.232(571.513)

Е.Г. Макеева

E.G. Makeeva

**CYANOPROCARYOTA ГИПЕРГАЛИННОГО ОЗЕРА ТУС  
(РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)**

**CYANOPROCARYOTA HYPERSALINE LAKE TUS  
(THE KHAKASIYA REPUBLIC)**

Исследован видовой состав *Cyanoprocaryota* гипергалинного озера Тус. Список обнаруженных водорослей насчитывает 27 видов.

В последнее время объектами интенсивного изучения во всем мире стали соленые озера, сочетающие экстремально высокие значения рН с повышенными концентрациями солей вплоть до насыщения (Цыренова, 2009). Географическое распространение минеральных озер подчиняется определенным закономерностям, которые указывают на тесную связь с климатическими, геологическими и почвенными условиями. Решающее значение при этом имеет климат. Высокая концентрация солей в озерах обычно наблюдается в условиях малого поверхностного стока и больших потерь на испарение, свойственных степным, полупустынным и пустынным районам (Соколов, 1952).

Соленые озера считаются центрами возникновения микробного разнообразия и местами сохранения уникальных реликтовых микробных сообществ, основными доминантами в которых являются цианобактерии, или синезеленые водоросли (Заварзин, 1993). Данная группа организмов является одним из основных продуцентов органического вещества в минерализованных водоемах. Высокая функциональная активность цианопрокариот в экстремальных экосистемах обусловлена присущей им физиологической пластичностью и быстрой реакцией на изменение физико-химических параметров среды.



Рис. Карта-схема отбора альгологических проб на оз. Тус (· – места отбора проб).

Видовой состав *Cyanoprocarvota* (*Cyanophyta*, *Cyanobacteria*) озера Тус

Таксоны	М	Г	А	С	Р
Класс <i>Cyanophyceae</i>					
Порядок <i>Synechococcales</i>					
<b>Семейство <i>Synechococcaceae</i></b>					
<i>Synechococcus salinarum</i> Komárek	?	?	?	?	?
<b>Семейство <i>Merismopediaceae</i></b>					
<i>Synechocystis salina</i> Wislouch	P-B	gl	?	?	k
Порядок <i>Chroococcales</i>					
<b>Семейство <i>Microcystaceae</i></b>					
<i>Chondrocystis sarcinoides</i> (Elenkin) Komárek et Anagn.	?	?	?	?	?
<i>Microcystis salina</i> (Woron.) Elenkin	P-B	?	?	?	?
<b>Семейство <i>Chroococcaceae</i></b>					
<i>Chroococcus quaternarius</i> Zalessky	B	i	i	?	Ha
<i>C. submarinus</i> (Hansg.) Kováčik	?	?	?	?	?
<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i> (Thur.) Geitler ex Komárek	B	gl	?	?	k
<i>Pseudocapsa sphaerica</i> (Proschk.-Lavr.) Kováčik	?	?	?	?	?
<b>Семейство <i>Cyanobacteriaceae</i></b>					
<i>Aphanothece salina</i> Elenkin et A.N. Danilov	P-B	gl	?	?	Ha
Порядок <i>Oscillatoriales</i>					
<b>Семейство <i>Pseudanabaenaceae</i></b>					
<i>Jaaginema subtilissimum</i> (Kütz. ex De Toni) Anagn. et Komárek	P-B	?	?	α	Ha, Pt
<i>Leptolyngbya perelegans</i> (Lemmerm.) Anagn. et Komárek	B, Ep	?	?	o	k
<i>L. valderiana</i> (Gomont) Anagn. et Komárek	B, S	?	?	o	k
<i>L. woronichinii</i> (Anisimova) Anagn. et Komárek	P-B	mg	?	?	Ha
<i>Planktolingbya limnetica</i> (Lemmerm.) Komárk.-Legn. et Cronberg	P-B, S	gl	?	o-β	k
<i>Spirocoleus fragilis</i> (Menegh.) P.C. Silva	B, S	pg	?	β-o	k
<b>Семейство <i>Phormidiaceae</i></b>					
<i>Coleofasciculus chthonoplastes</i> (Gomont) M. Siegesmund, J.R. Johansen et T. Friedl	B, S	pg	?	?	k
<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont	B, S	i	i	β	k
<i>P. breve</i> (Kütz. ex Gomont) Anagn. et Komárek	P-B, S	gl	?	β-p	k
<i>P. chalybeum</i> (Mert. ex Gomont) Anagn. et Komárek	P-B, S	gl	?	α	k
<i>P. formosum</i> (Bory ex Gomont) Anagn. et Komárek	P-B, S	?	?	β-p	k
<i>P. tambii</i> (Woron.) Anagn. et Komárek	?	?	?	?	?
<b>Семейство <i>Oscillatoriaceae</i></b>					
<i>Lyngbya aestuarii</i> Liebm. ex Gomont	P-B, S	pg	?	o	k
<i>L. confervoides</i> C. Agardh ex Gomont	?	?	?	?	?
<i>Oscillatoria annae</i> V. Goor	P-B, S	?	?	?	Ha, Pt, Nt
<i>O. tenuis</i> C. Agardh ex Gomont	P-B, S	gl	i	β-α	k
Порядок <i>Nostocales</i>					
<b>Семейство <i>Nostocaceae</i></b>					
<i>Anabaenopsis issatschenkoi</i> Woron.	?	?	?	?	?
<i>Trichormus variabilis</i> (Kütz. ex Bornet et Flahault) Komárek et Anagn.	P-B	mg	i	β	k

Примечание. М – местообитание (Р – планктонный, В – бентосный в широком смысле, связанный с субстратом; Ep – эпифит, S – почвенный, наземные субстраты); Г – галобность (i – индифферент, gl – галофил, mg – мезогалоб, pg – полигалоб); А – ацидофильность (i – индифферент); С – сапробность (o – олигосапробионт, β – бетамезосапробионт, α – альфамезосапробионт, p – полисапробионт); Р – распространение (Ha – голарктический, Pt – палеотропический, Nt – неотропический, k – космополит); ? – таксоны, мало изученные в экологическом и географическом отношениях.

Степной район Республики Хакасия богат солеными и солоноватыми озерами. Самое соленое озеро республики – Тус. Оно расположено в Чебаково-Балахтинской (Северо-Минусинской) котловине Назарово-Минусинской межгорной впадины. Находится в пределах Беле-Ширинской бессточной области, Юсо-Ширинской степи. Площадь водного зеркала составляет 2,65 км<sup>2</sup>, длина береговой линии – 8 км, максимальная глубина – 2,5 м, абсолютная отметка уреза воды – 386,2 м (Природные..., 2003). Котловина озера имеет неправильную, изогнутую форму, сложена верхнедевонскими песчаниками и глинистыми сланцами, береговая полоса представлена суглинками, песками, сланцами, плохо окатанной галькой. С восточной стороны в озеро впадает ручей.

Озеро Тус с минерализацией 115,07 г/л относится к группе крепких рассолов. В разные годы соленость озера колебалась от 70 до 250 г/л. В 1972 г. минерализация доходила до 275 г/л. По анионному составу это хлоридно-сульфатные воды практически с равной долей указанных ионов, по катионному составу воды магниевые-натриевые (Гусева и др., 2012). Осажденные из рапы соли образуют солевую «корку», мощностью 0,2–0,3 м, покрывающую центральную часть озера. Значение pH составляет 8,2–8,7.

Из литературных источников нам известна одна публикация, затрагивающая изучение диатомовых водорослей озера Тус (Генкал, 2011). Поэтому целью исследования явилось выявление видового состава цианопрокариот данного водоема.

Материалом для работы послужили пробы планктона и бентоса в количестве 27, собранные в мае 2007 г., июле 2012 г. (см. рис.). Пробы обрабатывали по общепринятым методикам (Водоросли, 1989), фиксировали 4 % раствором формалина. Определение водорослей проводили с помощью светового микроскопа «Альтами», при увеличении 1000–1600. Идентификацию водорослей осуществляли, используя отечественные определители (Голлербах и др., 1953; Кондратьева, 1968; Кондратьева и др., 1984), а также сводки зарубежных авторов (Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2005). Список синезеленых водорослей расположен по системе, принятой в Международной альгологической базе данных (<http://www.algaebase.org>). Роды внутри семейств и виды в родах находятся в алфавитном порядке. Фамилии авторов таксонов приведены в сокращенном варианте их цитирования, унифицированные в соответствии с рекомендациями П.М. Царенко (2010). Эколого-географическая характеристика водорослей основана на данных, содержащихся в определителях и крупных сводках (Барина и др., 2006).

В озере Тус за период исследования обнаружено 27 видов синезеленых водорослей, принадлежащих 18 родам, 9 семействам, 4 порядкам (см. табл.). Ведущими семействами являлись: Pseudanabaenaceae, Phormidiaceae (по 6 видов), Chroococcaceae, Oscillatoriaceae (по 4 вида), они составляли 74,1 % от общего количества выявленных видов. Наибольшее число видов в роде *Phormidium* (5).

В планктоне присутствовали 13 видов синезеленых водорослей, среди которых доминировали *Synechococcus salinarum* и *Aphanothece salina*.

Наиболее богаты цианобактериями пробы бентоса, здесь отмечено 19 видов, преобладали *Coleofasciculus chthonoplastes* и *Lyngbya aestuarii*.

Все виды синезеленых водорослей, обнаруженные в озере Тус, встречены в тех или иных сильно засоленных местообитаниях – в гипергалинных озерах и лиманах, солончаках. Например, виды: *Synechocystis salina*, *Phormidium breve*, *P. tambii*, *Lyngbya aestuarii*, *Coleofasciculus chthonoplastes*, *Spirocoleus fragilis*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Anabaenopsis issatschenkoi* указаны для гипергалинных озер Западной Сибири (Воронихин, 1929; Попова, 1930; Веснина и др., 2005; Самылина и др., 2010); *Synechocystis salina*, *Phormidium tambii*, *Lyngbya confervoides*, *Coleofasciculus chthonoplastes* – для озер Тывы (Naumenko, Zaika, 2002; Науменко, 2003); *Coleofasciculus chthonoplastes*, *Oscillatoria tenuis*, *Leptolyngbya valderiana*, *L. woronichinii*, *Aphanothece salina* – для озер Забайкалья (Цыренова и др., 2011 а, б); *Aphanothece salina*, *Phormidium breve*, *Lyngbya aestuarii*, *Coleofasciculus chthonoplastes* – для озер северо-западной Туркмении (Коган и др., 1972); *Synechocystis salina*, *Phormidium tambii*, *Oscillatoria tenuis*, *Leptolyngbya woronichinii*, *Lyngbya aestuarii*, *L. confervoides*, *Coleofasciculus chthonoplastes* – для озер Крыма (Самылина и др., 2010); *Synechocystis salina*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Oscillatoria annae*, *O. tenuis*, *Lyngbya confervoides* – для озер Египта (Hamed, 2008). В гипергалинном Куяльницком лимане выявлены: *Aphanothece salina*, *Lyngbya confervoides*, *Phormidium breve*, *Jaaginema subtilissimum* (Герасимюк и др., 2011). В солончаках Украины обитают: *Phormidium ambiguum*, *Leptolyngbya valderiana*, *Coleofasciculus chthonoplastes*, *Lyngbya aestuarii*, *Synechococcus salinarum*, *Chroococcus submarinus*, *Trichormus variabilis*, *Synechocystis salina* (Солоненко и др., 2006; Виноградова, Дариенко, 2008).

По приуроченности к местообитанию большинство видов синезеленых водорослей озера Тус являлось эвритопными: 7 видов относились к планктонно-бентосным, почвенным, 6 – к планктонно-бентосным,

присутствовали бентосные и почвенные виды (4), бентосные (2) и бентосные эпифиты (1).

Среди водорослей-индикаторов солености воды преобладали галофилы (7 видов), отмечено 3 вида полигалобов, присутствовали мезогалобы и индифференты (по 2 вида).

Ацидофильность известна лишь для 14,8 % видов, все из которых представлены индифферентами.

Показателями сапробности являлись 44,4 % водорослей, среди которых выделены олигосапробы (3 вида),  $\alpha$ - $\beta$ -,  $\beta$ - $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\alpha$ -,  $\beta$ -р-сапробы (по 2),  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроб (1 вид).

Для 19 видов водорослей известно их географическое распространение. Большинство цианопрокариот относится к космополитам – 14 видов, голарктических видов – 3, более широкое распространение по земному шару имеют *Jaaginema subtilissimum* (в голарктическом и палеотропическом царствах) и *Oscillatoria annae* (в голарктическом, палеотропическом и неотропическом царствах).

По результатам исследований в гипергалинном озере Тус выявлено 27 видов цианопрокариот, в их состав входят водоросли, присутствующие в гипергалинных местообитаниях других регионов. Экологическая характеристика водорослей по отношению к галобности – присутствие полигалобов и мезогалобов – указывает на значительную соленость исследуемого водоема.

## ЛИТЕРАТУРА

**Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.** Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.

**Веснина Л.В., Митрофанова Е.Ю., Лисицина Т.О.** Планктон соленых озер территории замкнутого стока (юг Западной Сибири, Россия) // Сибирск. эколог. журн., 2005. – Т. 12, № 2. – С. 221–233.

**Виноградова О.М., Дариенко Т.М.** Водоросли Азово-Сивашского национального парка (Украина) // Альгология, 2008. – Т. 18, № 2. – С. 183–197.

Водоросли: Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др.; под ред. С.П. Вассер. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.

**Воронихин Н.Н.** Материалы к изучению альгологической растительности озер Кулундинской степи // Известия Главного ботанического сада СССР, 1929. – Т. 28, вып. 1–2. – С. 12–40.

**Генкал С.И.** *Cyclotella choctawhatcheeana* (Bacillariophyta): морфология, таксономия, экология и распространение // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: мат-лы XII междунар. науч. конф. диатомологов. – М.: Университетская книга, 2011. – С. 17–19.

**Герасимюк В.П., Эннан А.А., Шихалева Г.Н.** Видовой состав водорослей бентоса Куяльницкого лимана (северо-западное Причерноморье, Украина) // Альгология, 2011. – Т. 21, № 2. – С. 226–240.

**Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.** Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Советская наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.

**Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Хващевская А.А., Сметанина И.В.** Химический состав соленых озер Северо-Минусинской котловины, Хакасия // Известия Томского политехнического университета, 2012. – Т. 321, № 1. – С. 163–168.

**Заварзин Г.А.** Эпиконтинентальные содовые водоемы как предполагаемые реликтовые биотопы формирования наземной биоты // Микробиология, 1993. – Т. 62, № 5. – С. 789–800.

**Коган Ш.И., Садыков Х.С., Дубаева З.В.** Первые сведения об альгофлоре водоемов Прикарабагазья и Южного Устюрта (северо-западная Туркмения) // Ботан. журн., 1972. – № 4. – С. 579–585.

**Кондратьева Н.В.** Синьозелені водорості (Cyanophyta). Класс Гормогониевые (Hormogoniophyceae) // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. – Київ: Наук. думка, 1968. – Вып. I, Ч. 2. – 524 с.

**Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П.** Синьозелені водорості (Cyanophyta). Общая характеристика синезеленых водорослей. Класс Хроококковые (Chroococcophyceae). Класс Хамесифоновые (Chamaesiphonophyceae) // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. – Київ: Наук. думка, 1984. – Вып. I, Ч. 1. – 388 с.

**Науменко Ю.В.** Водоросли минерализованного озера Сватиково (Республика Тыва) // Ботанич. исследов. в Азиатской России: матер. XI съезда РБО. – Т. 1. – Барнаул: «АзБука», 2003. – С. 129.

**Попова Т.Г.** К флоре водорослей минеральных водоемов Западной Сибири // Известия Главного ботанического сада СССР, 1930. – Т. 29, вып. 3–4. – С. 237–264.

Природные воды Ширина района Республики Хакасия / Под ред. В.П. Парначева. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 183 с.

**Самылина О.С., Герасименко Л.М., Шадрин Н.В.** Сравнительная характеристика фототрофных сообществ в минеральных озерах Крыма (Украина) и Алтайского края (Россия) // Альгология, 2010. – Т. 20, № 2. – С. 192–209.

**Соколов А.А.** Гидрография СССР (воды суши). – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 471 с.

**Солоненко А.Н., Яровой С.А., Подорожный С.Н., Разнополов О.Н.** Водоросли солончаков Степановской и Федотовской кос северо-западного побережья Азовского моря // Грунтознавство, 2006. – Т. 7, № 3–4. – С. 123–127.

**Царенко П.М.** Рекомендации по унификации цитирования фамилий авторов таксонов водорослей // Альголо-

гия, 2010. – Т. 20, № 1. – С. 86–121.

**Цыренова Д.Д.** Видовой состав и экофизиология цианобактерий солоноватых и соленых озер Южного Забайкалья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 2009. – 21 с.

**Цыренова Д.Д., Брянская А.В., Козырева Л.П., Намсараев З.Б., Намсараев Б.Б.** Структура и особенности формирования галоалкалофильного сообщества озера Хилганта // Микробиология, 2011. – Т. 80, № 2. – С. 251–257.

**Цыренова Д.Д., Брянская А.В., Намсараев З.Б., Акимов В.Н.** Таксономическая и экологическая характеристика цианобактерий некоторых солоноватых и соленых озер Южного Забайкалья // Микробиология, 2011. – Т. 80, № 2. – С. 230–240.

**Hamed A.F.** Biodiversity and Distribution of Blue-Green Algae/Cyanobacteria and Diatoms in Some of the Egyptian Water Habitats in Relation to Conductivity // Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2008. – 2 (1). – С. 1–21.

**Komárek J.** Phenotype diversity of the heterocytous cyanoprokaryotic genus *Anabaenopsis* // Czech Phycology, 2005. – № 5. – P. 1–35.

**Komárek J., Anagnostidis K.** Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales // Susswasserflora von Mitteleuropa. – Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl., 1998. – Bd. 19. – 548 p.

**Komárek J., Anagnostidis K.** Cyanoprocaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Susswasserflora von Mitteleuropa. – München: Spektrum, Akad. Verl., 2005. – Bd. 19/2. – 759 p.

**Naumenko Yu.V., Zaika V.V.** Biota of Lake Cheder (Tuva, Russia) // Hydrobiologia, 2002. – Vol. 468. – P. 261–263.

#### SUMMARY

The species composition of the Cyanoprocaryota from the hypersaline lake Tus is studied. The list of the found algae includes 27 species.