

СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ ИЛИ ЦИАНОБАКТЕРИИ? ВОПРОСЫ СИСТЕМАТИКИ

Ефимова М.В., Ефимов А.А.

Камчатский государственный технический университет

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

В статье приведены и проанализированы данные некоторых авторов по систематике синезеленых водорослей (цианобактерий). Приведены результаты определений видов цианобактерий некоторых горячих источников Камчатки.

Синезеленые водоросли насчитывают до 1500 видов [3]. В разных литературных источниках у разных авторов они упоминаются под разными названиями: цианеи, цианобионты, цианофиты, цианобактерии, цианеллы, синезеленые водоросли, синезеленые водоросли [12], цианофицеи [13]. Развитие исследований приводит некоторых авторов к изменению взглядов на природу этих организмов и, соответственно, к изменению названия. Так, например, еще в 2001 г. В.Н. Никитина относила их к водорослям и называла цианофитами, а в 2003 г. уже определила их как цианопротокариоты [15, 16]. В основном название выбирается в соответствии с классификацией, предпочтение которой отдает тот или иной автор.

Чем же вызвано наличие у организмов одной группы такого количества названий, причем такие названия как цианобактерии и синезеленые водоросли противоречат друг другу? По отсутствию ядра они сближаются с бактериями, а по наличию хлорофилла *a* и способности синтезировать молекулярный кислород – с растениями. По мнению Э.Г. Кукка, «крайне своеобразное строение клеток, колоний и нитей, интересная биология, большой филогенетический возраст – все эти признаки... дают основу для множества трактовок систематики этой группы организмов». Кукк приводит такие их названия как синезеленые водоросли (*Cyanophyta*), фиксированные дробянки (*Schizophyceae*), слизевые водоросли (*Mucophyceae*) [12].

Систематика – один из основных подходов к изучению мира. Ее целью является поиск единства в видимом разнооб-

разии природных явлений. Проблема классификации в биологии всегда занимала и занимает особое положение, что связано с гигантским разнообразием, сложностью и постоянной изменчивостью биологических форм живых организмов [10]. Цианобактерии являются ярчайшим примером полисистемности.

Первые попытки построения системы синезеленых относятся к XIX в. (Агард – 1824 г., Кютцинг – 1843, 1849 гг., Тюрэ – 1875 г.). Дальнейшую разработку системы продолжил Кирхнер (1900 г.). С 1914 г. началась существенная переработка системы, и был опубликован целый ряд новых систем *Cyanophyta* (Еленкин – 1916, 1923, 1936; Борци – 1914, 1916, 1917; Гейтлер – 1925, 1932 гг.). Самой удачной была признана система А.А. Еленкина, опубликованная в 1936 г. [4]. Эта классификация сохранилась до настоящего времени, так как оказалась удобной для гидробиологов и микропалеонтологов [8].

Схема Определителя пресноводных водорослей СССР [4] была основана на системе Еленкина, в которую были внесены незначительные изменения. В соответствии со схемой Определителя, синезеленые были отнесены к типу *Cyanophyta*, разделены на три класса (*Chroococceae*, *Chamaesiphoneae*, *Hormogoneae*). Классы разделены на порядки, порядки – на семейства. Эта схема определяла положение синезеленых в системе растений.

По классификации водорослей Паркера (1982 г.), синезеленые относятся к царству *Procaryota*, отделу *Cyanophycota*, классу *Cyanophyceae* [18].

Международный кодекс ботанической номенклатуры в свое время был признан неприемлемым для прокариот, и на его основе был разработан ныне действующий Международный кодекс номенклатуры бактерий – МКНБ (International Code of Nomenclature of Bacteria). Однако цианобактерии рассматриваются как организмы «двойной принадлежности» и могут описываться по правилам как МКНБ, так и Ботанического кодекса [21]. В 1978 г. Подкомитетом по фототрофным бактериям Международного комитета систематической бактериологии было предложено подчинить номенклатуру *Cyanophyta* правилам «Международного кодекса номенклатуры бактерий» и до 1985 г. опубликовать списки заново одобренных наименований этих организмов. Н.В. Кондратьева в статье [11] провела критический анализ этого предложения. Автор считает, что предложение бактериологов «ошибочно и может иметь вредные последствия для развития науки». В статье приведена классификация прокариот, принятая автором. Согласно этой классификации, синезеленые относятся к надцарству *Procaryota*, царству *Photoprocaryota*, подцарству *Procarophycobionta*, отделу *Cyanophyta*.

С.А. Баландин с соавторами, характеризуя царство Растения, относит отдел Бактерии (*Bacteriophyta*) к низшим растениям, а отдел Синезеленые водоросли (*Cyanophyta* – и не иначе) – к водорослям [1]. При этом остается неясным, что за таксономическая группа Водоросли – возможно, подцарство. В то же время, описывая отдел Бактерии, авторы указывают: «При классификации бактерий выделяют несколько классов: настоящие бактерии (эубактерии), миксобактерии, ... цианобактерии (синезеленые водоросли)» [1]. Вероятно, таксономическая принадлежность цианобактерий для авторов – вопрос открытый.

В литературных источниках приводится множество классификаций, в основе которых лежит деление на группы по *фенотипическим* признакам. Разные систематики по-разному оценивают ранг цианобактерий (или синезеленых?) – от класса до самостоятельного царства организмов. Так, по трехцарственной системе Хекела

(1894 г.), все бактерии относятся к царству *Protista*. Система из пяти царств по Уиттэйкеру (1969 г.) относит цианобактерии к царству *Monera* [26]. По системе организмов Тахтаджяна (1973 г.), они относятся к надцарству *Procaryota*, царству *Bacteriobiota* [2]. Однако в 1977 г. А.Л. Тахтаджян относит их к царству Дробянки (*Mychota*), подцарству Цианеи, или Синезеленые водоросли (*Cyanobionta*), отделу *Cyanophyta*. При этом автор указывает, что многие для обозначения царства вместо *Mychota* «употребляют малоудачное название *Monera*, предложенное еще Э. Геккелем для якобы безъядерного «рода» *Protamoeba*, который оказался всего лишь безъядерным фрагментом обыкновенной амёбы» [19]. В соответствии с правилами МКНБ, синезеленые водоросли входят в надцарство *Prokaryota*, царство *Mychota*, подцарство *Oxypotobacteriobionta* как отдел *Cyanobacteria* [2; 22]. Пятицарственная система классификации по Маргелис и Шварцу относит цианобактерии к царству *Prokariotae* [20]. Шестицарственная систематика Кавалер-Смита относит филум *Cyanobacteria* к империи *Procaryota*, царству *Bacteria*, подцарству *Negibacteria* [25].

В современной классификации микроорганизмов [24] принята следующая иерархия таксонов: домен, филум, класс, порядок, семейство, род, вид. Таксон домена был предложен как более высокий по отношению к царству, чтобы подчеркнуть значение подразделения мира живого на три части – *Archaea*, *Bacteria* и *Eukarya* [21]. В соответствии с такой иерархией цианобактерии относят к домену *Bacteria*, филуму B10 *Cyanobacteria*, который, в свою очередь, разделяют на пять подсекций [14].

Схема National Center for Biotechnology Information (NCBI) Taxonomy Browser (2004 г.) определяет их как тип *Cyanobacteria* и относит к царству *Monera*.

В 70-е гг. прошлого века К. Вёзе была разработана *филогенетическая* классификация, в основе которой лежит сопоставление всех организмов по одному гену малой рРНК. Согласно этой классификации, цианобактерии составляют отдельную ветвь 16S-рРНК дерева и относятся к царству *Eubacteria* [9]. Позже (1990 г.) Вёзе

определил это царство как *Bacteria*, разделив все организмы на три царства – *Bacteria*, *Archaea* и *Eukarya*.

Рассмотренные в статье таксономические схемы цианобактерий для наглядности сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Таксономические схемы цианобактерий

Авторы схем	Над-царство	Царство	Под-царство	Тип	Отдел	Класс
Хекел, 1894	–	<i>Protista</i>	–	–	–	–
Голлербах и др., 1953	<i>Procaryota</i>	<i>Plantae</i>	Низшие растения	<i>Cyano-phyta</i>	–	–
Уиттейкер, 1969	–	<i>Monera</i>	–	–	<i>Cyano-bacteria</i>	–
Тахтаджян, 1974	<i>Procaryota</i>	<i>Mychota</i>	<i>Cyanobion-ta</i>	–	<i>Cyanophyta</i>	–
Кондратьева, 1975	<i>Procaryota</i>	<i>Photo-procaryota</i>	<i>Procaryo-phycobion-ta</i>	–	<i>Cyanophyta</i>	–
Вёзе, 1977	–	<i>Eubacteria</i>	–	<i>Cyano-bacte-ria</i>	–	–
Международный кодекс номенклатуры бактерий, 1978	<i>Procaryota</i>	<i>Mychota</i>	<i>Oxyphoto-bacterio-bionta</i>	–	<i>Cyano-bacteria</i>	–
Паркер, 1982	–	<i>Procaryota</i>	–	–	<i>Cyanophyco-ta</i>	<i>Cyano-phyceae</i>
Маргелис и Шварц, 1982	–	<i>Prokari-otae</i>	<i>Prokaryo-tae</i>	–	<i>Cyanobacte-ria</i>	–
Определитель бактерий Берджи, 1984-1989	–	<i>Procaryo-tae</i>	–	–	<i>Gracilicutes</i>	<i>Oxyphoto-bacteria</i>
Вёзе, 1990	–	<i>Bacteria</i>	–	<i>Cyano-bacte-ria</i>	–	–
Определитель бактерий Берджи, 1997	–	<i>Procaryo-tae</i>	–	–	Категория <i>Gracilicutes</i>	Группа <i>Oxyphoto-bacteria</i>
Кавалер-Смит, 2003	Империя <i>Procaryota</i>	<i>Bacteria</i>	<i>Negibacte-ria</i>	–	<i>Cyanobacte-ria</i>	–
NCBI Таксоному Browser, 2004	–	<i>Monera</i>	–	<i>Cyano-bacte-ria</i>	–	–
Баландин и др., 2006	–	Растения	Водоросли?	–	<i>Cyanophyta</i>	–
	–	Растения	Низшие растения?	–	<i>Bacteriophy-ta</i>	<i>Cyano-bacteria</i>

Классификация цианобактерий находится в стадии развития и, по существу, все приводимые рода и виды в настоящее

время следует рассматривать как временные и подлежащие значительной модификации.

Основным принципом классификации все еще является фенотипический. Однако такая классификация удобна, так как позволяет определять образцы достаточно простым способом.

Наиболее популярной является таксономическая схема Определителя бактерий Берджи, которая также разделяет бактерии на группы по фенотипическим признакам.

Согласно изданию «Руководства по систематике бактерий Берджи», все ядерные организмы были объединены в царство *Procarvotae*, которое подразделялось на четыре отдела. Цианобактерии отнесены к отделу 1 – *Gracilicutes*, к которому отнесены все бактерии, имеющие грамотрицательный тип клеточной стенки, классу 3 – *Oxyphotobacteria*, порядку *Cyanobacteriales* [7].

Девятое издание «Определителя бактерий Берджи» [17] определяет отделы как категории, каждая из которых делится на группы, не имеющие таксономического статуса [5]. Любопытно, что некоторые авторы по-разному трактуют классификацию одного и того же издания «Определителя бактерий Берджи». Например, Г.А. Заварзин [9] – четко в соответствии с приведенным в самом издании делением на группы: цианобактерии входят в 11 группу – оксигенные фототрофные бактерии. М.В. Гусев и Л.А. Минеева все группы бактерий до девятой включительно характеризуют в соответствии с Определителем, а затем следуют радикальные расхождения. Так, в 11 группу авторы включают эндосимбионтов простейших, грибов и беспозвоночных, а оксифотобактерии оказываются отнесенными к 19 группе [5].

Согласно последнему изданию руководства Берджи, цианобактерии входят в домен *Bacteria* [24].

Таксономическая схема «Определителя бактерий Берджи» основана на нескольких классификациях: Риппка, Друэ, Гейтлера, классификации, созданной в результате критической переоценки системы Гейтлера, классификации Анагностидиса и Комарека.

Система Друэ основана в основном на морфологии организмов из гербарных образцов, что делает ее неприемлемой для

практики. Сложная система Гейтлера основана почти исключительно на морфологических признаках организмов из природных образцов. Путем критической переоценки родов Гейтлера создана еще одна система, основанная на морфологических признаках и способах размножения. В результате критической переоценки родов Гейтлера создана система, основанная, прежде всего, на морфологических признаках и способе размножения цианобактерий. Путем проведения сложной модификации системы Гейтлера с учетом данных по морфологии, ультраструктуре, способах размножения, изменчивости создана современная расширенная система Анагностидиса и Комарека [17]. Наиболее простая система Риппка, приведенная в «Определителе бактерий Берджи», основана почти исключительно на изучении лишь тех цианобактерий, которые имеются в культурах. Данная система использует морфологические признаки, способ размножения, ультраструктуру клеток, физиологические особенности, химический состав и иногда генетические данные [17]. Эта система, как и система Анагностидиса и Комарека, является переходной, так как приближается отчасти к генотипической классификации, т.е. отражает филогению и генетическое родство.

По таксономической схеме Определителя бактерий Берджи, цианобактерии делятся на пять подгрупп. К I и II подгруппам относятся одноклеточные формы или нитчатые колонии клеток, объединенных наружными слоями клеточной стенки или гелеподобным матриксом. Бактерии каждой подгруппы различаются способом размножения. К III, IV и V подгруппам относятся нитчатые организмы. Бактерии каждой подгруппы различаются между собой способом деления клеток и, как результат, формой трихомов (разветвленные или неразветвленные, однорядные или многорядные). В каждую подгруппу входит несколько родов цианобактерий, а также, наряду с родами, так называемые «группы культур», или «сверхроды», которые в дальнейшем, как предполагается, могут быть разделены на ряд дополнительных родов [17].

Так, например, «группа культур» *Cyanothece* (подгруппа I) включает семь изученных штаммов, выделенных из разных условий обитания. В целом первая подгруппа включает девять родов (*Chamaesiphon*, *Cyanothece*, *Gloeobacter*, *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Gloeothese*, *Myxobaktron*, *Synechococcus*, *Synechocystis*). Подгруппа II включает шесть родов (*Chroococciopsis*, *Dermocarpa*, *Dermocarpella*, *Myxosarcina*, *Pleurocapsa*, *Xenococcus*). Подгруппа III включает девять родов (*Arthrospira*, *Crinalium*, *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena*, *Spirulina*, *Starria*, *Trichodesmium*). Подгруппа IV включает семь родов (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Scytonema*, *Calothrix*). Подгруппа V включает одиннадцать родов потенциально нитчатых цианобактерий, отличающихся высокой степенью морфологической сложности и дифференцировки (многорядные нити). Это рода *Chlorogloeopsis*, *Fisherella*, *Geitleria*, *Stigonema*, *Cyanobotrys*, *Loriella*, *Nostochopsis*, *Mastigocladopsis*, *Mastigocoleus*, *Westiella*, *Napalosiphon*.

Некоторые авторы [9] на основании анализа гена 16S рРНК относят к цианобактериям и прохлорофитов (порядок *Prochlorales*), сравнительно недавно открытую группу прокариот, осуществляющих, как и цианобактерии, кислородный фотосинтез. Прохлорофиты во многом схожи с цианобактериями, однако, в отличие от них, наряду с хлорофиллом *a* содержат хлорофилл *b*, не содержат фикобилиновых пигментов.

В систематике цианобактерий еще достаточно много неясного, большие разногласия возникают на каждом уровне их исследования. Но, как полагает Кукк, «виноваты» в такой судьбе сине-зеленые водоросли сами» [12].

Работа выполнена при поддержке гранта фундаментальных исследований ДВО РАН на 2006-2008 гг. «Микроорганизмы Дальнего Востока России: систематика, экология, биотехнологический потенциал».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баландин С.А., Абрамова Л.И., Резина Н.А. Общая ботаника с основами геоботаники. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. С. 68.
2. Биологический энциклопедический словарь / Ред. Гиляров М.С. М.: Советская энциклопедия, 1986. С. 63, 578.
3. Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 36.
4. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1953. Вып. 2. 665 с.
5. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. М.: Академия, 2003. 464 с.
6. Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. М.; Л.: АН СССР, 1936. 679 с.
7. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: Дрофа, 2005. 446 с.
8. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: книжный дом «Университет», 2001. 256 с.
9. Заварзин Г.А. // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 6.
10. Захаров Б.П. Трансформационная типологическая систематика. М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. 164 с.
11. Кондратьева Н.В. // Бот. журн., 1981. Т.66. № 2. С. 215.
12. Кукк Э.Г. // Жизнь растений. М.: Просвещение, 1977. Т.3. С. 78.
13. Лупикина Е.Г. // Материалы межвуз. науч. конф. «Растительный мир Камчатки» (6 февраля 2004 г.). Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. С. 122.
14. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология. М.: Академия, 2006. 352 с.
15. Никитина В.Н. // Мат. II науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 73.
16. Никитина В.Н. // Мат. XI съезда Русс. ботан. общ-ва (18-22 августа 2003 г., Новосибирск-Барнаул). Барнаул: Изд-во «АзБука», 2003. Т. 3. С. 129.
17. Определитель бактерий Берджи / Ред. Хоулт Дж., Криг Н., Снит П., Стейли Дж., Уильямс С. М.: Мир, 1997. Т.1. 431 с.

18. Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии. М.: Мир, 1990. 597 с.
19. Тахтаджян А.Л. // Жизнь растений. М.: Просвещение, 1977. Т.1. С. 49.
20. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. М.: Мир, 2004. Т. 1. 454 с.
21. Штаккебрандт Э., Тиндалль Б., Лудвиг В., Гудфеллоу М. // Современная микробиология. Прокариоты. М.: Мир, 2005. Т. 2. С. 148.
22. Яковлев Г.П., Челомбитько В.А. Ботаника. М.: Высшая школа, 1990. 338 с.
23. Bergey's Manual of systematic bacteriology: Ed. D.R. Boone, R.W. Costenholz: Springer-Verlag N.Y. Berling, Meidelberg, 1984. V. 1.
24. Bergey's Manual of systematic bacteriology: 2nd edition. Ed. D.R. Boone, R.W. Costenholz: Springer-Verlag N.Y. Berling, Meidelberg, 2001. V. 1.
25. Cavalier-Smith, T. Protist phylogeny and the high-level classification of Protozoa. Eur. J. Protistol, 2003. V. 39. P. 338.
26. Whittaker, R.H. // Science, 1969. V. 163. P. 150.

BLUE-GREEN ALGAE OR CYANOBACTERIA? THE QUESTIONS OF SYSTEMATIC

Yefimova M.V., Yefimov A.A.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky

In the article there are some authors' resulted and analysed data about systematics, morphology, biodiversity of blue-green algae. The results of researches of cyanobacteria species in some hot spring of Kamchatka are given.

