

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ****БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ****О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ РОДА ARTHROSPIRA (SPIRULINA) НА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД***Корнилова Татьяна Ивановна**старший преподаватель, Якутская государственная сельскохозяйственная академия  
677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское шоссе, 3 км. д. 3**Черепанова Александра Михайловна**инженер-исследователь, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН  
677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Мерзлотная д.36  
E-mail: [alexandra\\_587@mail.ru](mailto:alexandra_587@mail.ru)***ABOUT THE POSSIBILITY OF GROWING CYANOBACTERIES OF THE ARTHROSPIRA (SPIRULINA) GENUS ON GEOTHERMAL SOURCES IN THE ZONE OF CONTINUOUS PERMAFROST***Tatyana Kornilova**Senior Lecturer, Yakutsk State Agricultural Academy  
677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye highway, 3 km, house 3**Alexandra Cherepanova**Assistant-researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS  
677010, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Merzlotnaya st, house 36***АННОТАЦИЯ**

Цианобактерии являются пионерными видами живых организмов, которые впервые на нашей планете начали вырабатывать кислород. В результате их появления в самом начале протерозоя произошло глобальное изменение состава атмосферы Земли. В настоящее время они широко распространены во многих биотопах Земного ландшафта.

Для человека имеет большую пищевую ценность три вида цианобактерий—Nostoc, Arthrospira (она же Spirulina) и Aphanizomenon. Для культивирования наиболее перспективной являются синезеленые водоросли рода Arthrospira (Spirulina).

**ABSTRACT**

Cyanobacteria are the pioneer species of living organisms, which for the first time on our planet began to produce oxygen. As a result of their appearance at the very beginning of the Proterozoic, a global change in the composition of the Earth's atmosphere occurred. Currently, they are widespread in many biotopes of the Earth's landscape.

For humans, three types of cyanobacteria-Nostoc, Arthrospira (also Spirulina) and Aphanizomenon are of great nutritional value. For the cultivation of the most promising are the blue-green algae of the genus Arthrospira (Spirulina).

**Ключевые слова:** цианобактерии, синезеленые водоросли, Nostoc, Arthrospira (Spirulina), Aphanizomenon, геотермальные источники, пищевая продукция, солевой состав.

**Keywords:** cyanobacteria, blue-green algae, Nostoc, Arthrospira (Spirulina), Aphanizomenon, geothermal sources, food products, salt composition.

**ВВЕДЕНИЕ**

Цианобактерии являются пионерными организмами на Земле, возникшими около 3,5 млрд. лет назад (Баев и др., 1986). Это отдел крупных грамотрицательных бактерий, способных к фотосинтезу с выделением кислорода, поэтому они сыграли большую роль в формировании состава атмосферы Земли. В настоящее время биомасса цианобактерий значительно сократилась, но они продолжают занимать

определенную нишу в различных биотопах, насчитывая при этом до 1500 видов.

В систематике цианобактерий еще достаточно много неясного, большие разногласия возникают на каждом уровне их исследования. В статье Ефимовой и Ефимова (2007) таксономические схемы цианобактерий сведены в таблице.

Таблица 1.

Таксономические схемы цианобактерий

Авторы схем	Надцарство	Царство	Подцарство	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>Cyanobionta</i>	-	<i>Cyanophyta</i>	-
Кондратьева, 1975	<i>Procaryota</i>	<i>Photo-procaryota</i>	<i>Procaryo-phycobionta</i>	-	<i>Cyanophyta</i>	-
Вёзе, 1977	-	<i>Eubacteria</i>	-	<i>Cyano-bacteria</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>Cyanophycota</i>	<i>Cyano-phyceae</i>
Маргелис и Шварц, 1982	-	<i>Prokariotae</i>	<i>Prokaryotae</i>	-	<i>Cyanobacteria</i>	-
Определитель бактерий Берджи, 1984-1989	-	<i>Procaryotae</i>	-	-	<i>Gracilicutes</i>	<i>Oxyphoto-bacteria</i>
Вёзе, 1990	-	<i>Bacteria</i>	-	<i>Cyano-bacteria</i>	-	-
Определитель бактерий Берджи, 1997	-	<i>Procaryotae</i>	-	-	Категория <i>Gracilicutes</i>	Группа <i>Oxyphoto-bacteria</i>
Кавалер-Смит, 2003	Империя <i>Procaryota</i>	<i>Bacteria</i>	<i>Negibacteria</i>	-	<i>Cyanobacteria</i>	-
NCBI Taxonomy Browser, 2004	-	<i>Monera</i>	-	<i>Cyano-bacteria</i>	-	-
Баландин и др., 2006	-	Растения	Водоросли?	-	<i>Cyanophyta</i>	-

**ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА**

В настоящее время *Arthrospira* (*Spirulina*) как один из компонентов альгофлоры обитает во многих озерах Центральной и Восточной Африки. В этих озерах с увеличением щелочности отдельные виды альгофлоры начинают выпадать из биоценоза и в конце остается одна *Arthrospira* (*Spirulina*), являясь

единственной питательной биомассой для множества живых организмов (Алимов, 1989). Имеются сведения, что фламинго в один из периодов своей жизни полностью переходит на питание спирулиной. Хотя цианобактерии любят соленые воды, многие виды этого рода плохо растут в морских водах. Это связано

с тем, что в морях низкое содержание карбоната и высокие концентрации магния и кальция (Гусев и др., 1979).

Физик и натуралист Франсиско Эрнандес в своих записях свидетельствует, что сухие галеты служили прекрасным средством, повышающим физическую выносливость местных жителей. В последующем подтвердилось, что по своему происхождению *Arthrospira* (*Spirulina*) относится к наиболее древнейшим формам жизни на Земле и в течение многих столетий была известна как объект питания.

В последней трети XX века началось введение *Arthrospira* (*Spirulina*) в массовую культуру питания. Детальные научные исследования *Arthrospira* (*Spirulina*) начались в 1960-х, когда французская фирма Sosa Техосо стала изучать водоросль перед открытием завода по сбору спирулины на озере Тескоко в Мексике (Ручкина, 2017).

К концу 70-х годов прошлого века исследования были сосредоточены на изучении полезных для здоровья свойствах *Arthrospira* (*Spirulina*). Было установлено, что употребление спирулины может вылечить или предотвратить различные заболевания. В 2005 году Орегонский Университет и Университет Южной Флориды проводили исследования, которые показали высокую эффективность спирулины на мозговую деятельность живых организмов.

В качестве пищевого продукта употребляются три вида: *Nostoc*, *Arthrospira* (*Spirulina*) и *Aphanizomenon*. Из них Цианобактерии *Nostoc* выращиваются в Северном Китае, Японии и Перу с целью производства диетического вещества, главным образом нейротоксической аминокислоты ВМАА. Потом появилось предположение, что этот токсин может вызвать болезнь Альцгеймера и Паркинсона (Johnsonetal., 2008). В отличие от *Nostoc*, *Arthrospira* (*Spirulina*) благотворно влияет на обменные процессы, обладает защитным потенциалом от повреждения мозговой ишемии за счет ее антиоксидантных свойств (Thaakuretal., 2010). А третий вид - *Aphanizomenon* индуцирует переходное увеличение циркулирующих стволовых клеток, помогает их мобилизации, что способствует восстановлению нервной ткани после инсульта (Mansillaet. al., 2011).

#### ПОЛЕЗНЫЕ СВОЙСТВА СПИРУЛИНЫ

Среди растительных продуктов в спирулине белка больше, чем в бобовых растениях и сое. В нем содержание белка примерно 55 - 70% от сухого веса. Небольшой недостаток по метионину, цистину и лизину, по сравнению с мясом, яйцами, или молоком. У спирулины тонкая клеточная стенка, и переваривается она легче, чем хлорелла или дрожжи. В ней в два раза меньше нуклеиновых кислот, чем в дрожжах, много витаминов, микроэлементов, полиненасыщенных жирных кислот. Содержание полиненасыщенных жирных кислот изменяются от 1,5–2,0% до 5–6% от общего количества жира (Johnsonetal., 2008). В частности, спирулина богата  $\gamma$ -линоленовой кислотой (омега-6, 36% от общей численности), стеаридониковой кислотой (омега-3), эйкозапентаеновой кислотой (омега-3), докозагексаеновой кислотой (омега-3) и

арахидоновой кислоты (омега-6), содержит витамины В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), В3 (никотинамид), В6 (пиридоксин), В9 (фолиевая кислота), В12 (цианокобаламин), витамин С, витамин D и витамин Е(ссылки). Она является богатым источником калия, а также содержит кальций, хром, медь, железо, магний, марганец, фосфор, селен, натрий и цинк (Thaakuretal., 2010).

#### ВЫРАЩИВАНИЕ СПИРУЛИНЫ

В данное время она выращивается в странах Юго-Восточной Азии, Мексике, Японии, Болгарии, Украине, Италии, Нидерландах. В Японии спирулину выращивают в теплицах на площади 10 тыс.га, в Италии — 2,5 тыс.га, во Франции — 3 тыс.га, в Нидерланды — 1 тыс.га, в Украине — 12 га, Молдове — 0,1 га.

На территории Российской Федерации выращивание спирулины в промышленном масштабе происходит весьма медленно и, как правило, только усилиями энтузиастов. Продвижению на север этого вида производства мешают суровые климатические условия, низкие температуры, а также слабая информированность населения.

Исходя из этого, нами предлагается использование геотермальных источников, распространенных повсеместно на территории Российской Федерации. В данном случае они могут стать экологической нишей для выращивания цианобактерий рода *Arthrospira* (*Spirulina*). При подборе места для выращивания необходимо уточнить солевой состав термальных вод, учитывая, что Mg и Ca являются ингибиторами роста цианобактерии (Алимов, 1989), необходимо также знать щелочность воды и ее температуру. Использование термальных источников для выращивания цианобактерии может укрепить продовольственную безопасность, оздоровить питание населения, увеличить разнообразие и объем выпускаемой продукции, к тому же создать новые рабочие места. Кормовая добавка для сельскохозяйственных животных и птиц будет способствовать увеличению выпуска сельскохозяйственной продукции.

Якутия является одним из самых холодных регионов России, имеет на территории ряд геотермальных источников, на которых возможно выращивание спирулины. Наличие многолетнемерзлых пород не может считаться преградой для выращивания спирулины. Создание теплиц на геотермальных источниках может превратить данный регион в центр по выращиванию спирулины.

Возможным местом для выращивания спирулины в Якутии может быть ее южная часть - Алданский район. Преимущество данного региона — богатейший природно-ресурсный потенциал, который по-настоящему еще не вовлечен в экономику России. Перспективы развития данного района связаны в первую очередь с освоением его природно-ресурсного потенциала. Со временем район станет узловым центром инфраструктурного развития всего Дальнего Востока (Схема комплексного развития ..., 2007).

В геоморфологическом отношении Южная Якутия представляет собой горную страну, состоящую

из трех последовательно сочленяющихся средне-высотных нагорий: Олекмо-Чарского, Алданского и Учуро-Майского. По климатическим условиям рассматриваемая территория относится к одной из холодных областей Северного полушария. Низкие среднегодовые температуры воздуха и продолжительно холодный период привели к тому, что здесь широко распространены многолетнемерзлые горные породы, мощность которых местами составляет 500 м и более (Алексеев, 1967). Коллекторами подземных вод являются зоны тектонических нарушений, поэтому здесь большое развитие получили трещинно-жильные воды, в т.ч. геотермальные. Источники имеют значительные дебиты (до 340 л/с), химический состав сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый (Шепелев и др., 1984). Например, Малонахотское месторождение минеральных вод, где на глубине от 1160 до 1764 м вскрываются термальные минеральные воды Архейского водоносного комплекса. Воды щелочные, слабоминерализованные, сульфатно-натриево-кальциевые. В настоящее время потенциал этих источников полностью не используется. Имеются предложения по разливу вод

источника Малый Нахот, а также создания санатория на горячих источниках. Слабое развитие дорог, малая заселенность территории не позволяют использовать геотермальные источники в санаторно-курортных целях.

Таким образом, окультивирование цианобактерий рода *arthrospira* (*spirulina*) на геотермальных источниках в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород имеет большие перспективы и должно занять достойное место в производстве продуктов питания и в фармацевтике. Кроме того в перспективе восполнить нехватку биологических ресурсов региона из-за особых почвенно-климатических условий. Для этих целей необходимо создать федеральную целевую программу, в которой нужно предусмотреть разработку методических указаний для выращивания спирулины. Помимо геотермальных источников можно использовать водоохлаждающие контуры АЭС, сталелитейной промышленности, ТЭЦ и ГРЭС, используя значительный мировой опыт по технологии выращивания цианобактерий, с учетом местных климатических условий.

#### Список литературы:

1. Алексеев В.Р. Закономерности распространения многолетнемерзлых горных пород на юго-востоке Сибирской платформы. – В сб.: Геокриологические условия Прибайкалья и Забайкалья. М., изд-во «Наука», 1967
2. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Монография. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 152 с.
3. Баев А.А., Винберг Г.Г., Заварзин Г.А. и др. Биологический энциклопедический словарь. /Гл.ред. М.С.Гиляров; Редкол.:—М.: Сов. энциклопедия, 1986.— С.576.—831с.).
4. Громов Б.В. Ультраструктура синезеленых водорослей. Л.: Наука, 1976. 91 с.
5. Гусев М.В., Никитина К.А. Цианобактерии. М.: Наука, 1979. 228 с.
6. Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. М.; Л.: АН СССР, 1936. 679 с.
7. Ефимова М.В., Ефимов А.А. Синезеленые водоросли или цианобактерии? Вопросы систематики. Журнал Современные проблемы науки и образования. – 2007. –№ 6 (часть 1)– С. 34-39
8. Ручкина Н.И. Синезеленые водоросли. Журнал "Химия и жизнь". -2017 -(5). URL: <http://www.hij.ru/read/issues/2017/may/6597/>
9. Шепелев В.В., Толстихин О.Н., Пигузова В.М. и др. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири.– Новосибирск: Наука, 1984. 189 с.
10. Holly E.Johnson, Steven R.King, Sandra Anne Banack, Christopher Webster, Wilson Javier Callanaupa, Paul Alan Cox. Cyanobacteria (*Nostoc commune*) used as a dietary item in the Peruvian highlands produce the neurotoxic amino acid BMAA. *Journal of Ethnopharmacology/* Volume 118, Issue 1,19 June 2008, pp 159-165
11. Santhrani Thaakur, Ravi Sravanthi. Neuroprotective effect of *Spirulina* in cerebral ischemia–reperfusion injury in rats. *Journal of Neural Transmission/*Volume 117, Issue 9, September 2010, , pp 1083–1091
12. Eduardo Mansilla, VaninaDíaz Aquino, Daniel Zambón, Gustavo Horacio Marin, Karina Mártire, Gustavo Roque, Thomas Ichim, Neil H. Riordan, Amit Patel, Flavio Sturla, Gustavo Larsen, Rubén Spretz, Luis Núñez, Carlos Soratti, Ricardo Ibar, Michiel van Leeuwen, José María Tau, Hugo Drago, and Alberto Maceira. Could Metabolic Syndrome, Lipodystrophy, and Aging Be Mesenchymal Stem Cell Exhaustion Syndromes? *Stem Cells International*. Published online 2011 Jun 13. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3118295/>
13. Схема комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики РС (Я) до 2020 года (сводный том). Одобрена Правительством Российской Федерации (Протокол заседания Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2007 г. № 5).