

Вестник 



**БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. Акмуллы**

Главный редактор:

С.Т. Сагитов,
канд. социол. наук.

Редакционная коллегия:

А.А. Фазлыев,
канд. социол. наук;
С.В. Рябова,
канд. пед. наук;
С.А. Гареева,
канд. биол. наук;
З.Д. Батталова,
канд. пед. наук.

Ответственный редактор:

З.С. Аманбаева.

Адрес редакции:

450008, РБ, г. Уфа,
ул. Октябрьской революции, 3-а,
корп. 1, каб. 305

Тел.: 8 (347) 216-50-15

E-mail: vestnik.bspu@yandex.ru

ISBN 978-5-87978-666-8

© Редакция Вестника
БГПУ им. М. Акмуллы
© Муратов И.М., обложка, 2008

№ 2(63) 2022

Специальный выпуск
выходит с 2000 года

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Естественно-математические науки

<i>Bozieva A.M., Sinetova M.A., Kupriyanov E.V., Voloshin R.A., Zharmukhamedov S.K., Allakhverdiev S.I.</i>	5
CYANOBACTERIA AS A FEEDSTOCK FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS	
<i>Dobrojan S.N., Dobrojan G.N.</i>	8
THE PROPERTY OF CYANOBACTERIA TO QUANTITATIVELY REGULATE THE NITROGEN CONTENT OF WATER AND SOIL	
<i>Аверина С.Г., Сенатская Е.В., Пиневиц А.В.</i>	15
ЦИАНОБАКТЕРИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ДАЛЬНИЙ КРАСНЫЙ СВЕТ: НОВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ	
<i>Андреева Н.А., Снарская Д.Д., Емельянова М.С.</i>	18
ШТАММЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОТОПОВ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КРЫМА	
<i>Бачура Ю.М.</i>	24
ОЦЕНКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИАНОБАКТЕРИИ РОДА NOSTOC В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	
<i>Бачура Ю.М.</i>	26
ДИСЦИПЛИНА «ПОЧВЕННАЯ АЛЬГОЛОГИЯ» В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ МАГИСТРОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ БИОЛОГИЯ В ГГУ ИМЕНИ Ф.СКОРИНЫ	
<i>Бондарева А.В., Бачура Ю.М.</i>	30
ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОХРОФИТОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРАМИ	
<i>Горбатенко А.А.</i>	34
ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ ПОЧВЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ VISCHERIA MAGNA НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ОГУРЦОВ И ТОМАТОВ	
<i>Горин К.К., Белякова Р.Н.</i>	38
СЦАНОПРОКАРЮОТА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАКАЗНИКА БЕРЁЗОВЫЕ ОСТРОВА (ФИНСКИЙ ЗАЛИВ, БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)	
<i>Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю.</i> ОБЗОР АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАШКОРТОСТАНЕ	41
<i>Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю., Гафарова В.А.</i> РОЛЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССАХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ	47
<i>Еремкина Т.В.</i>	55
ЦИАНОБАКТЕРИИ ВОДОЕМОВ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Зарипова Л.Х., Кабиров Р.Р.</i>	64
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ШТАММОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ	
<i>Кезля Е.М., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.</i>	68
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАБАРКОДИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЦИАНОПРОКАРИОТ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	
<i>Козлова Е.В., Мазина С.Е., Ларионов М.В.</i>	72
РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ВО ВХОДНЫХ ЗОНАХ ПЕЩЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БАШКИРИЯ»	
<i>Кокшарова О.А.</i>	82
ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ И ФОТОСИНТЕЗ ЦИАНОБАКТЕРИЙ	

<i>Мазина С.Е., Козлова Е.В., Суандзара Б.Р, Бенитсиафантука Э.У., Федоров А.С., Северин А.В., Николаев А.Л., Саранцев А.В.</i>	90
ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОЕ СООБЩЕСТВО КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ	
<i>Мальцев Е.И., Кривова З.В., Мальцева С.Ю., Кезля Е.М., Куликовский М.С.</i>	95
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ НОВОГО ШТАММА <i>ALPINOSTOC</i> (NOSTOCALES)	
<i>Мирошниченко Е.С., Благинина А.А.</i>	99
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПЕРИФИТОНА МАКРОПЛАСТИКА КАРАНТИННОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ	
<i>Патова Е.Н, Новаковская И.В.</i>	105
ПОЧВЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ	
<i>Патова Е.Н., Сивков М.Д.</i>	111
РАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПОЧВЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ КОРКАХ ГОРНЫХ ТУНДР УРАЛА	
<i>Родина О.А., Власов Д.Ю., Давыдов Д.А., Верещагин О.С.</i>	118
ЦИАНОБАКТЕРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ВУЛКАНА ТОЛБАЧИК	
<i>Садогурская С.А., Белич Т.В., Садогурский С.Е.</i>	122
О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭПИЛИТНЫХ СУАНОВАСТЕРИА В СУПРАЛИТОРАЛИ ПОЛУОСТРОВА МЕГАНОМ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)	
<i>Смирнова Л.Л.</i>	129
ЦИАНОБАКТЕРИИ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ПУТИ МИГРАЦИИ	
<i>Снарская Д.Д., Емельянова М.С.</i>	136
НОВЫЕ ШТАММЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КОЛЛЕКЦИИ CALU	
<i>Батаева Ю.В., Григорян Л.Н.</i>	139
ОЦЕНКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ <i>ANABAENA CONSTRICTA</i> IPPAS В-2020 В МИКРОДЕЛЯНОЧНОМ ОПЫТЕ	
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	
Общие положения	143
Рекомендуемая структура публикаций	144
Требования к текстовой части статьи	144
Образцы оформления ссылок на литературу	149

ПРЕДИСЛОВИЕ

Водоросли и цианобактерии представляют большой интерес с точки зрения проведения фундаментальных и прикладных научных исследований. В связи с тем, что в последнее время человечество сталкивается с новыми вызовами, а также вследствие бурного развития биотехнологии наблюдается повышение интереса к изучению этих организмов с целью поиска уникальных штаммов для использования в сельском хозяйстве, промышленности, фармакологии, защите окружающей среды и других отраслях.

В специальном выпуске нашего журнала представлены материалы конференций по альгологической тематике, проведенных в Башкирском государственном педагогическом университете им. М. Акмуллы в 2021-2022 годах: Международной научно-практической конференция «Актуальные проблемы почвенно-альгологических исследований» 25 ноября 2021 года и IV Международной научной школе-конференции «Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение, использование в биотехнологии» 16-21 мая 2022 года.

В работе конференций приняли участие 54 ученых-альголога из России, Индии, Белоруссии и Молдовы, которые представили результаты своих исследований по следующим направлениям:

- Перспективы развития почвенно-альгологических исследований;
- Флора, биогеография и экология цианопрокариот/цианобактерий;
- Современная таксономия цианопрокариот/цианобактерий;
- Вторичные метаболиты: структура, биосинтез, физиологическая функция, значение в природе, способы обнаружения, биотехнологическое применение;
- Использование цианобактерий в биотехнологии.

Материалы конференций представляют интерес для альгологов, микробиологов, гидробиологов, биотехнологов и для всех исследователей-биологов.

Ayshat M. Bozieva¹, Maria A. Sinetova¹, Elena V. Kupriyanova¹, Roman A. Voloshin¹, Sergey K. Zharmukhamedov², Suleyman I. Allakhverdiev^{1,2}

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Botanicheskaya Street 35, Moscow 127276, Russia

² Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region 142290, Russia

*Corresponding author: Ayshat M. Bozieva, ayshat2696@mail.ru

CYANOBACTERIA AS A FEEDSTOCK FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS

Abstract. Currently, all over the world, various technologies for using the biomass of phototrophic microorganisms for energy and raw material purposes are being developed and widely implemented, among which cyanobacteria and microalgae attract special attention as potential producers of so called "third generation" biofuel – biohydrogen. The development of effective methods for obtaining various types of fuel from raw materials of biological origin and its use in conjunction with traditional fossil fuels will solve many problems in the energy sector.

The purpose of this study was to assess the characteristics important for potential biohydrogen producers, such as photosynthetic activity and growth rate of cyanobacterial strains.

Keywords: Cyanobacteria, Photosynthesis, Biofuels, Biohydrogen

Аннотация. В настоящее время во всем мире разрабатываются и широко внедряются различные технологии использования биомассы фототрофных микроорганизмов в энергетических и сырьевых целях, среди которых особое внимание привлекают цианобактерии и микроводоросли как потенциальные производители так называемого биотоплива "третьего поколения" – биоводорода. Разработка эффективных методов получения различных видов топлива из сырья биологического происхождения и его использование в сочетании с традиционными ископаемыми видами топлива позволят решить многие проблемы в энергетическом секторе.

Целью нашего исследования была оценка характеристик, важных для потенциальных продуцентов биоводорода, таких как фотосинтетическая активность и скорость роста штаммов цианобактерий.

Introduction

Hydrogen (H₂) is a universal, efficient and sustainable source of energy. Hydrogen does not emit pollutants when used and it can be produced by living organisms. As a result of hydrogen oxidation, water is formed, which makes it possible to use it as an environmentally friendly energy carrier. All this makes H₂ an attractive option in the search for renewable, environmentally friendly alternatives to fossil fuels [1-6].

The promising candidates capable of photobiological hydrogen production are cyanobacteria and microalgae. These are the only organisms capable of both oxygenic photosynthesis and hydrogen production [7,8]. Cyanobacteria are characterized by the ability to use sunlight as the only source of energy for hydrogen production, to survive in extreme conditions, and also to grow on relatively simple nutrient media [7,9,10].

Materials and methods

The objects of this work were the following collection strains of cyanobacteria: *Synechocystis* sp. PCC 6803 GT (control), *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200, *Dolichospermum*

sp. IPPAS B-1213 and *Sodalinema gerasimenkoae* IPPAS B-353. The cultivation of cyanobacteria in laboratory conditions was carried out photoautotrophically in glass vessels with 200 mL of an appropriate culture medium (BG-11, Zarruka, BG-11-N, S), under average illumination of 230 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2\text{s})$ from warm white LED and aeration with a sterile air-gas mixture enriched with 1.5% CO_2 . The cultivation temperature mode was selected in accordance with the temperature optimum for each strain. For the *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 the optimum temperature for cultivation was determined during the experiment. The culture growth was evaluated based on the increase in optical density at 750 nm (OD_{750}) and the biomass. To obtain dry biomass the samples were sedimented via centrifugation and washed with distilled water, and the pellet was dried in preweighed tubes for 24 h at 80°C.

The pigment composition was analyzed spectrophotometrically in a methanol extract as described in the protocol [11]. The oxygen evolution rate was measured using a Clark electrode consisting of a platinum cathode and a silver anode immersed in a KCl solution and separated from the test solution by a teflon membrane (Oxytherm System, Hansatech). Mathematical data processing was carried out using OriginPro 9.1 software.

Results and discussion

The following results were obtained in the experiments: it has been found that the optimal cultivation temperature for cyanobacteria *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 was 35°C. On the 6th day of cultivation, OD_{750} of *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 culture was 6.829, while the initial OD_{750} was 0.004. *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 and *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 showed photosynthetic activity of 122 and 129 $\mu\text{mol O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ Chl h}^{-1}$, respectively. For the *Sodalinema gerasimenkoae* IPPAS B-353 the oxygen evolution rate was 181 $\mu\text{mol O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ Chl h}^{-1}$.

The best biomass doubling times were obtained for *Cyanobacterium* sp. IPPAS B-1200 and *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 – 5.4 and 8.1 hours, respectively. The results of the study allow us to conclude that the cells of the selected strains of cyanobacteria are highly active: they have a high potential for growth and photosynthesis, which is an important requirement for cyanobacteria, which can be promising hydrogen producers. The data obtained allow us to reasonably assume that the selected strains can be used as the potential effective generators of molecular hydrogen.

Conclusions

Cyanobacteria, which have higher photosynthetic efficiency compared to that of plants and algae, can better serve for the purpose of hydrogen production in a more economical and environmentally sustainable manner, and can replace a significant portion of fossil fuels [12,13]. Cyanobacteria are a promising source of biomass for biofuel production due to their rapid growth and high productivity. The search and characterization of previously unexplored strains of cyanobacteria are necessary to identify the most promising biofuel producers.

Acknowledgement

The results were obtained within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121033000136-4) and with the support from Russian Science Foundation (project No. 22-44-08001).

REFERENCES

1. Aziz M. Integrated hydrogen production and power generation from microalgae // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – 41. – P.104-112.
2. Khetkorn W., Rastogi R.P., Incharoensakdi A., Lindblad P., Madamwar D., Pandey A., Larroche C. Microalgal hydrogen production - a review // Bioresource Technology. – 2017. – 243. – P.1194-1206.
3. Kufryk G. Advances in utilizing cyanobacteria for hydrogen production // Advances in Microbiology. – 2013. – 3. – P.60-68.
4. Hosseini S.E. and Wahid M.A. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – 57. – P.850-866.

5. Edwards P.P., Kuznetsov V.L., David W.I.F. Hydrogen Energy // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 2007. – 365(1853). – P.1043-1056.
6. Nath K., Najafpour M.M., Voloshin R.A., Balaghi S.E., Tyystja E., Timilsina R., Eaton-Rye J.J., Tomo T., Nam H.G., Nishihara H., Ramakrishna S., Shen J.-R., Allakhverdiev S.I. Photobiological hydrogen production and artificial photosynthesis for clean energy: from bio to nanotechnologies // Photosynthesis Research. – 2015. – 126. – P.237-247.
7. Lindblad P. The potential of using cyanobacteria as producers of molecular hydrogen. Editor(s): Miyake J, Igarashi Y, Rögner M, Biohydrogen III. – 2004. – P.75-82.
8. Parmar A., Singh N.G., Pandey A., Gnansounou E., Madamwar D. Cyanobacteria and microalgae: A positive prospect for biofuels // Bioresource technology. – 2011. – 102. – P.10163-10172.
9. Skizim N.J., Ananyev G.M., Krishnan A., Dismukes G.Ch. Metabolic pathways for photobiological hydrogen production by nitrogenase- and hydrogenase-containing unicellular cyanobacteria *Cyanothece* // The Journal of Biological Chemistry. – 2012. – 287(4). – P.2777–2786.
10. Sadvakasova A.K., Kossalbayev B.D., Zayadan B.K., Bolatkhan K., Alwasel S., Najafpour M.M., Tomo T., Allakhverdiev S.I. Bioprocesses of hydrogen production by cyanobacteria cells and possible ways to increase their productivity // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – 133. – P.110054.
11. Zavřel T., Sinetova M.A., Červený J. Measurement of chlorophyll *a* and carotenoids concentration in cyanobacteria // Bio-protocol. – 2015. – 5(9). – e1467.
12. Farrokh P., Sheikhpour M., Kasaeian A., Asadi H., Bavandi R. Cyanobacteria as an eco-friendly resource for biofuel production: A critical review // Biotechnology Progress. – 2019. – 35(5). – e2835.
13. Zahra Z., Choo D.H., Lee H., Parveen A. Cyanobacteria: Review of Current Potentials and Applications // Enviroments. – 2020. – 7(13).

Информация об авторах

А.М. Бозиева – аспирант;
М.А. Синетова – кандидат биологических наук;
Е.В. Куприянова – кандидат биологических наук;
Р.А. Волошин – кандидат биологических наук;
С.К. Жармухамедов – кандидат биологических наук;
С.И. Аллаhverдиев – доктор биологических наук.

Information about the authors

A.M. Bozieva – PhD student;
M.A. Sinetova – PhD;
E.V. Kupriyanova – PhD;
R.A. Voloshin – PhD;
S.K. Zharmukhamedov – PhD;
S.I. Allakhverdiev – Doctor of Science (Biology).

*Sergiu N. Dobrojan*¹, *Galina N. Dobrojan*²

^{1,2} *Scientific Research Laboratory, Algology Vasile Salaru*", Moldova State University, (<https://usm.md/>)

*Corresponding author: Dobrojan Sergiu Nicolaevich, sergiudobrojan84@yahoo.com

THE PROPERTY OF CYANOBACTERIA TO QUANTITATIVELY REGULATE THE NITROGEN CONTENT OF WATER AND SOIL

Abstract. The article presents the results of experiments conducted with nitrogen-fixing cyanobacteria *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *Nostoc flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault in laboratory conditions (in the aquatic nutrient medium nitrogen-free and in soil), as well as in greenhouses and open ground, aimed at the analysis of nitrogen changes that occur when introducing their biomass. The research results showed that nitrogen-fixing cyanobacteria have the property of "quantitative autoregulation" of nitrogen content in soil and water and contribute to maintaining its ecological balance.

Keywords: cyanobacteria, nitrogen, self-regulation, soil and water

*Сергей Николаевич Доброжан*¹, *Галина Николаевна Доброжан*²

^{1,2} *Научно-исследовательская лаборатория „Альгология Василе Салару”*, Молдавский государственный университет, ([https://usm.md /](https://usm.md/))

*Автор, ответственный за переписку: Доброжан Серджиу Николаевич, sergiudobrojan84@yahoo.com

СВОЙСТВО ЦИАНОБАКТЕРИЙ КОЛИЧЕСТВЕННО РЕГУЛИРОВАТЬ СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ВОДЕ И ПОЧВЕ

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментов, проведенных с азотфиксирующими цианобактериями *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *Nostoc flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry и *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault в лабораторных условиях (на водных питательных среды, без азота и на почве), а также в теплицах и открытого грунта, направленных на анализ изменений азота, образующихся при введении их биомассы. Результаты исследований показали, что азотфиксирующие цианобактерии обладают свойством «количественной авторегуляции» содержания азота в почве и воде и способствуют поддержанию его экологического баланса.

Ключевые слова: цианобактерии, азот, саморегуляция, почва и вода

Introduction. Cyanobacteria play a key role in the biogenic migration of nitrogen from the Earth's surface, which contributes to the maintenance of life on our planet [1]. Cyanobacteria are cosmopolitan, hardy, with a major ability to reproduce, and some of them have the "phenomenal" biological ability to fix atmospheric nitrogen in both aquatic and terrestrial ecosystems in all regions [4].

Atmospheric nitrogen fixed by cyanobacteria is important for the Earth's ecosystems because due to this process the environment accumulates about four times more nitrogen than the amount received from the atmosphere [7]. In the most extreme areas, such as the Arctic region, the nitrogen fixed by cyanobacteria compensates for its lack of soil and at the same time these

organisms play a key role in the development of the primary successions of terrestrial ecosystems [8].

Biological nitrogen fixed (BNF) by cyanobacteria is important for the efficient functioning of aquatic ecosystems. Multiple studies have shown that cyanobacteria fix a much higher amount of atmospheric nitrogen in aquatic than in terrestrial ecosystems, and that this process intensifies when the ratio of N:P in water is lower. Atmospheric nitrogen fixed by cyanobacteria directly limits the productivity, composition, dynamics and diversity of many ecosystems by modifying them [3, 6]. When the minor amount of nitrogen contributes to the reduction of phytoplankton productivity, nitrogen-fixing cyanobacteria activate their functions and make up for the deficit with nitrogen fixed in the atmosphere.

It is now well known that cyanobacteria contribute to the accumulation of nitrogen in terrestrial and aquatic ecosystems, largely due to their ability to BNF. However, it is not clear whether these organisms contribute to maintaining the balance of nitrogen in aquatic and terrestrial ecosystems and whether they can be considered as “self-regulators” of this element. This problem is especially important for the biogeochemical analysis of the Earth's ecosystems. We believe that the lack of information on organisms that have the property of quantitative ecological “self-regulation” of nitrogen balance in aquatic and terrestrial ecosystems is the main reason that led us to conduct this research.

Thus, the purpose of this research is to present and explain the hypothesis regarding the property of nitrogen-fixing cyanobacteria of quantitative “self-regulation” of nitrogen in terrestrial and aquatic medium and maintaining its balance.

Materials and methods. In order to establish the quantitative “self-regulatory” property of nitrogen by nitrogen-fixing cyanobacteria, experiments were performed in laboratory conditions on liquid nutrient medium (nitrogen-free) and in soil, as well as in greenhouse conditions when cultivating crops and in open fields.

Experimented cyanobacteria - the experiments included pure unialgal strains of the following species of cyanobacteria: *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *Nostoc flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault. The cyanobacterial strains were isolated from the soils of the Republic of Moldova and are in the collection of the Scientific Research Laboratory "Algology Vasile Salaru" of the Moldova State University.

Conditions for conducting experiments - the experiments started in the field were carried out in the central region of the Republic of Moldova, during the years 2014-2020, in the experimental greenhouses for growing tomatoes and cucumbers (equipped with irrigation, adjustable temperature and humidity) and in the open field, without irrigation, when cultivating sunflower.

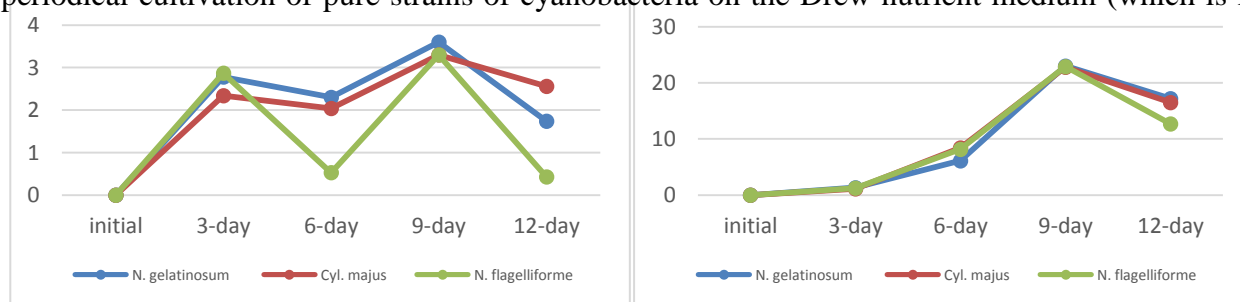
Cyanobacteria cultivation - to obtain the biomass applied in experiments, the cyanobacteria were cultured, according to the periodic method, on the Drew nutrient medium, preventively sterilized (by exposure to ultraviolet lamp). In laboratory experiments to study the dynamics of nitrogen in water, was used the nitrogen-free culture medium Drew whose composition is described in the literature [2]. The cyanobacteria were inoculated at a dose of 0,4 g/l, being cultured according to the periodic method.

Quantitative determination of nitrogen - experiments performed on liquid nutrients were determined by the forms of nitrogen NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- and N of algal biomass, using classical spectrophotometric methods. The determination of total N in the soil was performed by spectrophotometric method using Nessler reagent [2, 4, 9].

Nitrogen from the nutrient medium was determined by the sum $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$. Total nitrogen was calculated by summing the N-total biomass of algae ($\text{mgN} * \text{algal biomass g}$) + $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ (from the nutrient medium). The nitrogen eliminated in nutritive medium was calculated using the formula $\text{N.el} (\%) = (\text{Ntm} * 100) / (\text{Nt} - \text{N0})$. Where: Ntm - total nitrogen in nutritive medium, Nt - total nitrogen (algal cells + Ntm); N0 - total nitrogen from inoculum cells.

Results and discussion

Numerous scientific studies conducted so far, which have focused on the analysis of the dynamics of nitrogen modification in the cultivation of nitrogen-fixing cyanobacteria, have shown their indisputable ability to fix and accumulate nitrogen in nitrogen-free nutrients, but also in their use in quality of biofertilizer for the cultivation of crop plants. However, in our view, they have not shown that nitrogen-fixing cyanobacteria have the property of quantitative “self-regulation” of nitrogen in both aquatic and terrestrial medium. The results of the many experiments presented in this paper demonstrate this finding. Thus, to demonstrate the role of nitrogen-fixing cyanobacteria in the quantitative “self-regulation” of nitrogen in water is presented the results obtained from the periodical cultivation of pure strains of cyanobacteria on the Drew nutrient medium (which is free



of N and very poor microelements including Mo), and in order to establish this specific legitimacy for the soil, experiments were carried out in laboratory and field conditions by administering the biomass of nitrogen-fixing cyanobacteria on the soil without planting the plants and on the soils involved in agriculture in the cultivation of the crop plants. As it is known, cyanobacteria fix atmospheric nitrogen in water in the form of NH₄⁺ ions after which it is transformed into NO₃⁻. Thus, we analyzed the dynamics of changes in these ions in the cultivation of cyanobacteria on a nutrient medium over a period of 12 days, which ensures the exponential phase of biomass growth.

A

B

Fig. 1. Dynamics of modification NH₄⁺ ion (A) and NO₃⁻ ion (B) when cultivating nitrogen-fixing cyanobacteria *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault, mg/l

As can be seen from the results shown in fig. 1, NH₄⁺ ions tend to increase major on the 3rd day (between 2,34-2,78 mg/l) followed by a slight decrease on the 6th day, after which their concentration increases to on the 9th day (reaching 3,3-3,6 mg/l), and on the 12th day there is a pronounced decrease. Respectively, when analyzing this indicator we can conclude that the experienced cyanobacteria have the property of fixing atmospheric nitrogen in the form of ammonium ions, within the limits of the algal population and their consumption, if there is a surplus in the nutritive medium. This indicates that these organisms have the capacity to regulate the nitrogen in the aqueous medium and to keep it within the necessary limits. Nitrate ions are increasing until the 9th day in all the experimented variants, and on the 12th day their quantity decreases, so it was manifested in ammonium ions. Thus, we can conclude that on the 12th day the amount of NO₃⁻ and NH₄⁺ was much higher than the need of the algal population and was activated the mechanism of quantitative “self-regulation” of nitrogen in water. We would like to mention that during the experiments in the nutritive medium no nitrite ions were identified.

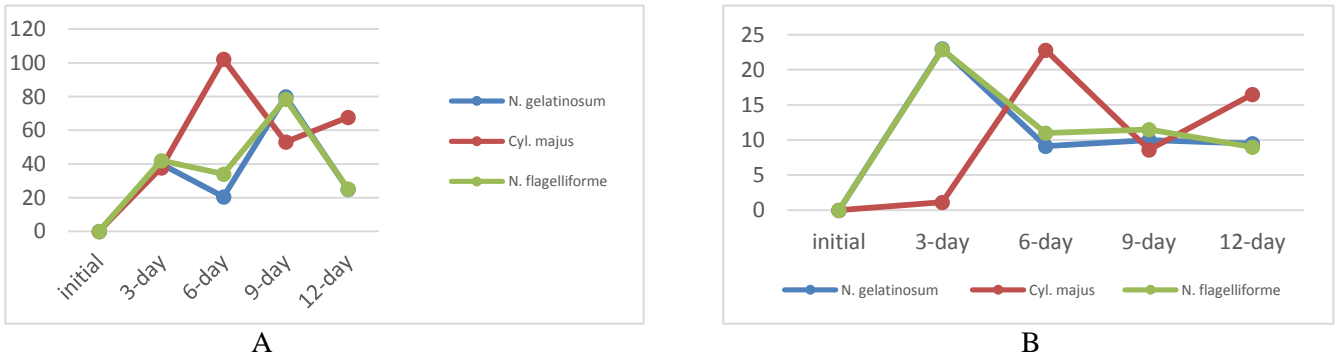


Fig. 2. The amount of atmospheric nitrogen fixed (A, mg/l) and that eliminated in the nutritive medium (B,%) when cultivating nitrogen-fixing cyanobacteria *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault

The analysis of the changes of the atmospheric nitrogen fixed and eliminated in the nutritive medium of cultivation of the researched cyanobacteria clearly shows the tendency of fixation and consumption of nitrogen. This property is common to all researched cyanobacteria, but the period of its manifestation differs depending on the species. Thus, for example, the population of the species *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault it fixes atmospheric nitrogen continuously until the 6th day, after which it consumes the fixed nitrogen, and then on the 12th day the process of BNF is initiated again. In populations of *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault and *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry BNF is produced until the 3rd day, after which the fixed nitrogen is consumed on the 6th day, on the 9th day the process is started again, and on the 12th day attests to nitrogen consumption. The same oscillations, characterized by the elimination of atmospheric nitrogen and its consumption, are attested in the analysis of the process of elimination of fixed atmospheric nitrogen (fig. 2).

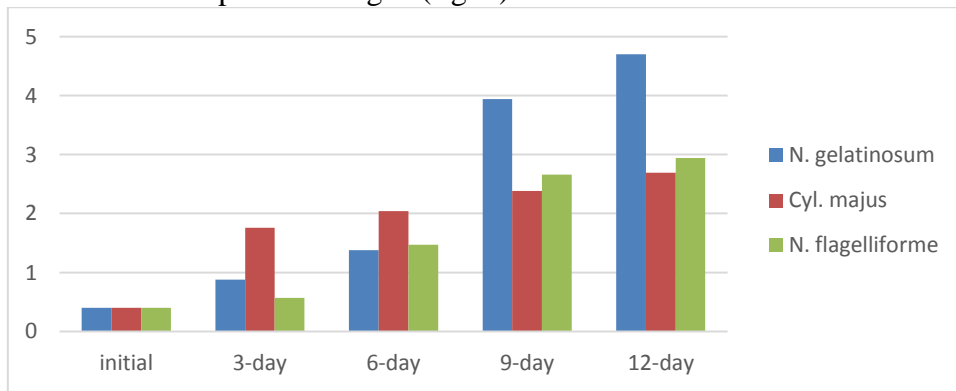


Fig 3. Biomass of the cyanobacteria population *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault, g/l

Biomass of cyanobacterial populations *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault is linearly increasing from inoculation to the 12th day of the experiment, but the amount of atmospheric nitrogen fixed and eliminated in the nutritive medium, as I mentioned, varied from one period to another. This indicates that even if the population of the cyanobacteria studied is increasing, the fixed atmospheric nitrogen does not exceed the limits of its need (being consumed in case of surplus and fixed in case of lack). The fact that BNF in cyanobacteria is not influenced by the amount of biomass was also established in the research conducted by Grimm N.B. and Petrone K.C., who concluded that the consumption of *Anabaena*

cyanobacterial biomass by phytophagous fish in the lotic ecosystem does not influence the BNF's [5]. Thus, we can conclude that cyanobacterial populations *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault have the property of quantitatively regulating nitrogen in the nutritive medium and respectively maintaining its balance. This process is subject to a specific physiological control that allows nitrogen to be maintained within the allowed natural limits.

In order to determine whether this legality is also observed in the case of soil, several experiments were performed (in laboratory conditions, greenhouse and open field) where the biomass of cyanobacteria was administered.

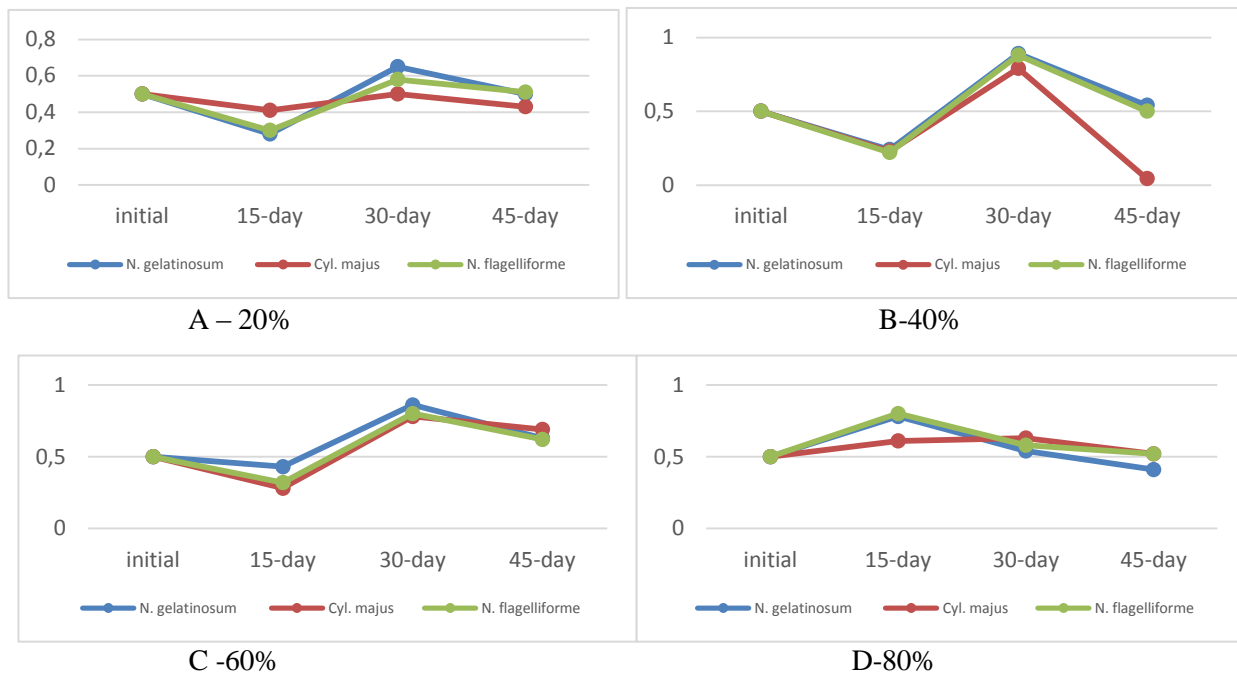


Fig. 4. Dynamics of the modification of total nitrogen in the soil with varying humidity at the administration of cyanobacteria (soil moisture A-20%; B-40%; C-60%; D-80%), %

Laboratory experiments with cyanobacterial biomass administration *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault, the results of which are shown in fig. 4, denotes that cyanobacteria fix atmospheric nitrogen up to a certain limit which is dependent on the humidity conditions after which its concentration is reduced, this process is dynamic. The results of these experiments allow us to see the observance of the same legitimacy of "self-regulation" of nitrogen content in the soil by the researched cyanobacteria.

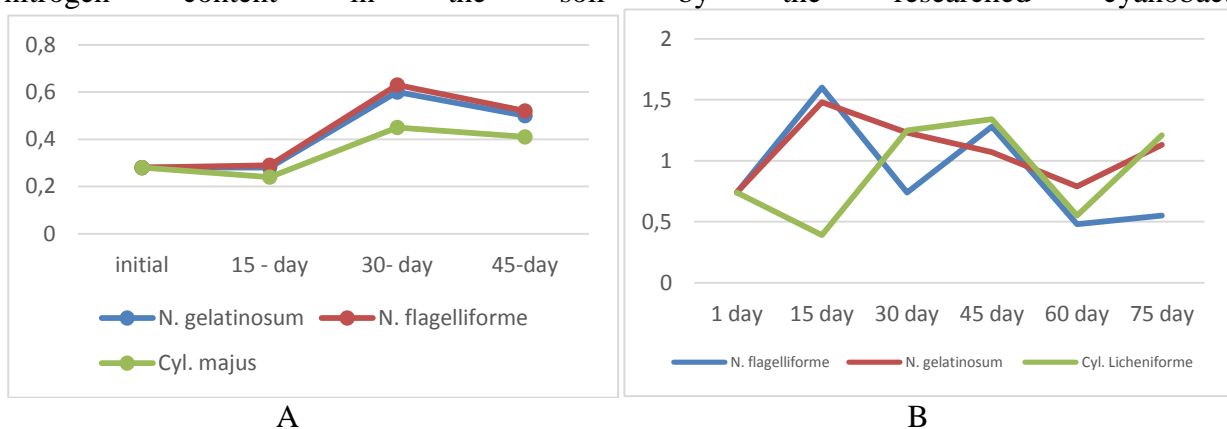


Fig. 5. Changes in total soil nitrogen when administering cyanobacterial biomass *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault in the cultivation of tomatoes (A) and cucumbers (B) in greenhouse conditions, %

When administering cyanobacterial biomass *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault the same legitimacy was observed when growing tomatoes and cucumbers in greenhouse conditions. The amount of atmospheric nitrogen accumulated in the soil differs depending on the species administered, the plants grown and the period of monitoring, but it is certain that they fix the nitrogen up to a certain amount (which varies depending on several factors) after which, if this amount it is sufficient for the ecosystem, then its consumption mechanism is triggered, and if it is deficient, is fixed nitrogen from the atmosphere. In the variants with the administration of cyanobacteria to the cultivation of tomatoes, they contributed to the accumulation of nitrogen in the soil until the 30th day of the experiment, although as major consumers of nitrogen were the tomato seedlings, after which the nitrogen decreased to the 45th. day. In the experiment with the administration of biomass in the cultivation of cucumbers, the highest amount of nitrogen in the soil was attested on the 15th day (in the variants with administration of cyanobacteria of the genus *Nostoc*), and in the variant with the administration of biomass of the species *Cylindrospermum majus* the largest quantities were attested only on the 45th day (fig. 5).

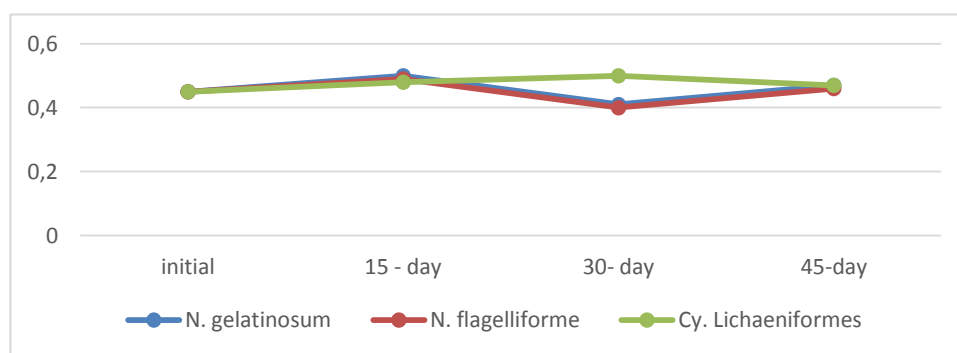


Fig. 6. Changes in

total soil nitrogen when administering cyanobacterial biomass *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault when cultivating sunflower, %

In order to verify that the identified legitimacy is specific and in open conditions, the biomass of the cyanobacteria experienced was administered in the cultivation of sunflower in the open field. The results shown in fig. 6 allow us to find that the same legitimacy of quantitative “self-regulation” of nitrogen in the soil achieved by the experienced nitrogen-fixing cyanobacteria and of maintaining the balance of nitrogen in the soil ecosystem.

Conclusions. Based on the results obtained, we can conclude that nitrogen-fixing cyanobacteria *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, *N. flagelliforme* Harvey ex Molinari, Calvo-Pérez & Guiry and *Cylindrospermum majus* Kützing ex Bornet & Flahault possesses the property of quantitative self-regulation of nitrogen in soil and water. Thus, we can establish that nitrogen-fixing cyanobacteria have the function of balancing atmospheric nitrogen in soil and water and probably have a key role in ensuring the edaphic and aquatic climax.

REFERENCES

1. Dobrojan S., Şalaru V., Şalaru V., Melnic V. Dobrojan G. Cultivarea algelor: monografie. Chişinău: CEP USM, 2012. 173 p.
2. Grigheli Gh., Şalaru V., Jigău Gh., Stasiev G., Galbură O. Analiza chimică a calităţii apei. Chişinău: CEP USM. 2006. 113 p.

3. Howarth R.W., Marino R., Cole JJ. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine, and marine ecosystems. 2. Biogeochemical controls // *Limnol. Oceanogr.* – 1988. N. 33. – P. 688-701.
4. Peter M. Vitousek P.V., Cassman K., Cleveland C., Crews T., Field C. B., Grimm N.B., Howarth R.W., Marina R., Martinelli L., Rastetter E.B., Sprent J.I. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation // *Biogeochemistry.* – 2002. N. 57/58. – P. 1-45.
5. Sandu M., Lozan R., Tăriță A., Ropot V. Metode de instruire privind controlul calității apei. Chișinău „Ericon SRL”, 2010. 173 p.
6. Smith V.H., Bennett S.J. Nitrogen: Phosphorus supply ration and phytoplankton community structure in lakes // *Arch. Hydrobiol.* N. 146. – P. 37-53.
7. Solheim B., Zielke Matthias, Bjerke J. W., Rozema J. Effects of enhanced UV-B radiation on nitrogen fixation in arctic ecosystems // *Plant Ecology.* - 2006. N. 182. - P. 109 –118.
8. Zielke M., Ekker A.S., Olsen R.A., Spjelkavik S. and Solheim B. The influence of abiotic factors on biological nitrogen fixation in different types of vegetation in the High Arctic, Svalbard // *Arct. Antarct. Alp. Res.* – 2002. Vol. 34. – P. 293 – 299.
9. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1: учеб. Пособие. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2006. 107 с.

Information about the authors

S.N. Dobrojan – PhD in biology, assoc. prof.

G.N. Dobrojan – master of ecology

Информация об авторах

С.Н. Доброжан – кандидат биологических наук, доц. профессор

Г.Н. Доброжан – магистр экологии

*Светлана Геннадиевна Аверина*¹, *Екатерина Владимировна Сенатская*², *Александр Васильевич Пиневи́ч*³

^{1, 2, 3}*Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
s.averina@spbu.ru

Автор, ответственный за переписку: Светлана Геннадиевна Аверина, s.averina@spbu.ru

ЦИАНОБАКТЕРИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ДАЛЬНИЙ КРАСНЫЙ СВЕТ: НОВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ

Аннотация. В сообщении представлены новые данные о цианобактериях, способных использовать дальний красный свет. Штаммы сформированной авторами коллекции принадлежат к различным систематическим группам и филогенетическим кластерам цианобактерий. Адаптация сопровождается синтезом длинноволновых форм пигментов – хлорофиллов *f* и *d*. Для штамма *Altericista variichlora* CALU 1173 выявлены генетические детерминанты адаптации.

Ключевые слова: цианобактерии, хлорофиллы *f* и *d*, фотосинтетический аппарат, адаптация к использованию дальнего красного света

*Svetlana G. Averina*¹, *Ekaterina V. Senatskaya*², *Alexander V. Pinevich*³
^{1, 2, 3}*Saint-Petersburg State University (St. Petersburg, Russia)*

Corresponding author: Averina Svetlana Gennadievna, s.averina@spbu.ru

CYANOBACTERIA USING FAR RED LIGHT: NEW OBJECTS, MECHANISMS OF ADAPTATION

Abstract. The report presents new data on cyanobacteria using far red light. The strains of the collection formed by the authors belong to different systematic groups and phylogenetic clusters of cyanobacteria. Adaptation is accompanied by the synthesis of long-wavelength forms of pigments – chlorophylls *f* and *d*. For the strain *Altericista variichlora* CALU 1173, genetic determinants of adaptation were identified.

Keywords: cyanobacteria, chlorophylls *f* and *d*, photosynthetic apparatus, adaptation to the use of far red light

Адаптация цианобактерий к использованию дальнего красного света (ДКС, 700–750 нм) активно исследуется на протяжении последних двадцати лет. Чаще всего она связана с синтезом длинноволновых форм пигментов и перестройкой фотосинтетического аппарата [1]. С целью поисков новых объектов, обладающих этой способностью, мы проанализировали более 250 штаммов цианобактерий из коллекции CALU Санкт-Петербургского Государственного университета (<http://researchpark.spbu.ru/collection-csemrus>), а также более 100 новых изолятов. Культуры выращивали в жидкой среде BG-11 при освещении белым и ДКС (LED максимумом эмиссии 730–750 нм). Длинноволновые формы пигментов выявляли и идентифицировали с использованием методов абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

В результате анализа спектров поглощения были отобраны 16 штаммов, клетки которых, выращенные на ДКС, имеют дополнительные максимумы при длине волны более 700 нм. На спектрах эмиссии флуоресценции отобранных штаммов (при длине волны возбуждения 405 и 440 нм) регистрировались дополнительные пики при 720–750 нм.

Полученные данные свидетельствуют о присутствии в клетках длинноволновых форм пигментов фотосинтетического аппарата. Пигменты, поглощающие ДКС, были идентифицированы как хлорофиллы (хл) *f* и *d*, относительное содержание которых составляло соответственно не более 9% и не более 0,6% общего количества хлорофилла. Вероятно, адаптивный синтез длинноволновых хлорофиллов изученными штаммами является частью комплексного механизма адаптации цианобактерий к использованию ДКС (far-red light photoacclimation; FaRLiP) [2].

Шесть из отобранных штаммов депонированы в коллекции CALU, остальные десять являются новыми изолятами. В основном это нитчатые цианобактерии, не образующие дифференцированных клеток (гетероцист и акинет). По совокупности фенотипических признаков и результатов молекулярно-филогенетического анализа они отнесены к родам *Leptolyngbya* (7 штаммов), *Phormidesmis* (2 штамма), *Wilmottia* (2 штамма) и *Pseudanabaena* (один штамм). Два штамма являются образующими гетероцисты цианобактериями р. *Chlorogloeopsis*, характеризующимися сложным циклом развития. Одноклеточный штамм CALU 1173 был исходно идентифицирован как *Synechocystis* sp. по совокупности морфологических признаков. Однако этот штамм имел менее 90% сходства гена 16S рРНК с референсным штаммом *Synechocystis* sp. PCC 6803 и был описан нами как представитель нового вида *Altericicsta variichlora* в составе нового рода *Altericista*. Валидность нового рода и вида подтверждается анализом последовательностей генов *rbcL* и *rpoC*, а также особенностями вторичной структуры ITS рибосомного оперона [3]. Ампликоны 16S рДНК штамма Cf. *Leptolyngbya* sp. Fr2 имели невысокий уровень сходства с последовательностями культивируемых цианобактерий (не более 89%), поэтому диагноз данного штамма нуждается в уточнении.

Новые штаммы цианобактерий, способные использовать ДКС, выделены из различных экологических ниш. Часть изолирована из антарктических микробных матов (4 штамма), обрастаний (один штамм) и почвы (3 штамма), где наблюдается недостаток видимого света. Другие штаммы были получены из проб воды эуфотической зоны пресных водоемов (7 штаммов). В таких местообитаниях нет недостатка видимого света, но цианобактерии могли попасть в водную толщу из других частей водоема, например со дна.

Согласно данным литературы, за адаптацию к использованию ДКС у цианобактерий отвечает группа генов, образующая кластер FaRLiP [2]. Известно, что экспрессия генов этого кластера регулируется двухкомпонентной фосфорелейной системой, реагирующей на изменение условий освещения и кодирующейся генами *rfpA*, *rfpB* и *rfpC*, которые также входят в его состав. Нам удалось идентифицировать кластер FaRLiP в секвенированном геноме штамма *A. variichlora* CALU 1173. Этот кластер содержит 21 ген, в том числе паралоги, кодирующие апопротеины фотосистемы I (*psa*-гены) и фотосистемы II (*psb*-гены), а также субъединицы аллофикоцианина (*apc*-гены), которые экспрессируются на ДКС. Идентифицирован ген *psbA4*, который кодирует хл *f*-синтазу. Особенностью организации кластера FaRLiP *A. variichlora* CALU 1173 является рассеянная локализация регуляторных генов: ген *rfpB* расположен в положении upstream по отношению к генам *rfpA* и *rfpC*, в то время как у других ДКС-адаптирующихся штаммов три гена этой системы колокализованы в порядке *rfpB-rfpA-rfpC*.

Исследование выполнено с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ “Развитие молекулярных и клеточных технологий”, “Лазерные и оптические методы исследования вещества” и “Культивирование микроорганизмов” при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 20-04-00020).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gan, F. Adaptive and acclimative responses of cyanobacteria to far-red light / F. Gan, D. A. Bryant // Environmental Microbiology. – 2015. – Vol. 17. – P. 3450–3465.

2. Gan, F. Extensive remodeling of a cyanobacterial photosynthetic apparatus in far-red light / F. Gan, S. Zhang, N. C. Rockwell, S. S. Martin, J. C. Lagarias, D. A. Bryant. // *Science*. – 2014. – Vol. 345. – P. 1312–1317.

3. Averina, S. A new cyanobacterial genus *Altericista* and three species, *A. lacusladogae* sp. nov., *A. violacea* sp. nov., and *A. variichlora* sp. nov., described using a polyphasic approach / S. Averina, E. Polyakova, E. Senatskaya, A. Pinevich // *Journal of Phycology*. – 2021. – Vol. 57. – P. 1517–1529.

REFERENCES

1. Gan, F. Adaptive and acclimative responses of cyanobacteria to far-red light / F. Gan, D. A. Bryant // *Environmental Microbiology*. – 2015. – Vol. 17. – P. 3450–3465.

2. Gan, F. Extensive remodeling of a cyanobacterial photosynthetic apparatus in far-red light / F. Gan, S. Zhang, N. C. Rockwell, S. S. Martin, J. C. Lagarias, D. A. Bryant. // *Science*. – 2014. – Vol. 345. – P. 1312–1317.

3. Averina, S. A new cyanobacterial genus *Altericista* and three species, *A. lacusladogae* sp. nov., *A. violacea* sp. nov., and *A. variichlora* sp. nov., described using a polyphasic approach / S. Averina, E. Polyakova, E. Senatskaya, A. Pinevich // *Journal of Phycology*. – 2021. – Vol. 57. – P. 1517–1529.

Информация об авторах:

Аверина Светлана Геннадиевна, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия, каф. микробиологии, к.б.н., доцент, s.averina@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0890-1834>

Сенатская Екатерина Владимировна, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия, каф. микробиологии, аспирант, senatskaya.kate.vbg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5652-2412>

Пиневиц Александр Васильевич, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия, каф. микробиологии, д.б.н., профессор, a.pinevich@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3949-156X>

Information about the authors:

Averina Svetlana Gennadievna St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, Department of Microbiology, Ph.D., Associate Professor, s.averina@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0890-1834>

Senatskaya Ekaterina Vladimirovna, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, Department of Microbiology, post-graduate student, senatskaya.kate.vbg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5652-2412>

Pinevich Alexander Vasilievich St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, Department of Microbiology, Doctor of Biological Sciences, Professor, a.pinevich@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3949-156X>

Почтовый адрес для контактов: 199178, г. Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., д. 29, каф. микробиологии СПбГУ.

Научная статья

Наталья Алексеевна Андреева¹, Дина Данировна Снарская², Мария Сергеевна Емельянова²

¹Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия, andreeva.54@list.ru, <https://unmc.pf/ru/lab-eco-problem-prirodopolz/andreeva/>

²Научный парк СПбГУ, Ресурсный центр «Культивирование микроорганизмов», Санкт-Петербург, Россия, dina.snarskaya@spbu.ru

*Автор, ответственный за переписку: Наталья Алексеевна Андреева, andreeva.54@list.ru

ШТАММЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОТОПОВ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КРЫМА

Аннотация. В работе приведен список альгологически чистых штаммов цианобактерий, выделенных из различных фитосообществ прибрежной акватории Крыма. Создана региональная Коллекция культур этих микроорганизмов, зарегистрированная в Проектном офисе управления биоресурсными коллекциями, а также депонированная в Ресурсном центре «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ. Штаммы были изучены морфологически и идентифицированы до рода. Обсуждается проведение в дальнейшем молекулярно-генетических и биохимических исследований коллекционных культур

Ключевые слова: цианобактерии, штаммы цианобактерий, коллекция культур, экотопы прибрежной акватории, черноморское побережье Крыма.

CYANOBACTERIA STRAINS FROM VARIOUS ECOTOPES OF THE CRIMEAN COASTAL AREA

Natalia A. Andreeva¹, Dina D. Snarskaya², Mariia S. Emelianova²

¹Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia
andreeva.54@list.ru, <https://unmc.pf/ru/lab-eco-problem-prirodopolz/andreeva/>

²St. Petersburg State University, Research Park, Centre for Culture Collection of Microorganisms, St. Petersburg, Russia

²dina.snarskaya@spbu.ru

Abstract. The paper presents a list of algologically pure strains of cyanobacteria isolated from various phytocommunities of the Crimean coastal waters. A regional collection of cultures of these microorganisms has been created, registered at the Project Office for the Management of Bioresource Collections, and also deposited at the Resource Center "Cultivation of Microorganisms" of the Science Park of St. Petersburg State University. The strains were studied morphologically and identified to the genus. Further molecular-genetic and biochemical studies of collection cultures are discussed.

Keywords: cyanobacteria, strains of cyanobacteria, culture collection, ecotopes of the coastal water area, the Black Sea coast of Crimea.

Цианобактерии (*Cyanoprokaryota*) играют важную роль в морских экосистемах. Благодаря сочетанию автотрофии и высокопластичного функционально-генетического аппарата прокариотической клетки, позволяющему быстро перестраиваться в условиях изменяющихся внешних условий, цианобактерии обеспечивают динамику кислорода, углерода и азота в водной среде, непосредственно влияют на разнообразие и обилие гидробионтов.

У Крымского побережья выявлено 124 вида цианобактерий из 54 родов, из них 14 видов из 10 родов указываются для планктона, 117 видов из 51 рода найдены в бентосе [2], но до настоящего времени не была создана значимая коллекция черноморских штаммов этих микроорганизмов.

Цианобактерии являются неотъемлемым компонентом для проведения прикладных и фундаментальных работ. Перспективы использования коллекционных штаммов цианобактерий очень широки. Во-первых, они могут применяться для оценки уровня загрязнения окружающей среды. Во-вторых, являются новым природным источником для получения биологически активных субстанций, обладающих антибактериальными, противораковыми и другими свойствами. Штаммы цианобактерий, особенно выделенные из самых экстремальных мест обитания, обладают уникальными биохимическими и физиологическими свойствами, которые можно использовать в фармакологии для создания новых перспективных лекарств. Кроме того, созданные коллекции штаммов имеют огромное научное и прикладное значение, в качестве «банка» хранения генофонда организмов [6] и как объекты для проведения различных лабораторных исследований.

Культурой микроорганизмов (цианобактерий в том числе) называется система, состоящая из микроорганизма вместе с частью окружающей среды и находящаяся в замкнутом пространстве под наблюдением [4]. Первый шаг на пути к успешной изоляции цианобактерий из природы – это получение комплексных данных об их среде обитания. Например, прибрежные морские водоросли и цианобактерии в значительной степени зависят от таких факторов, как температура и соленость воды. Кроме того, для успешного культивирования необходимы также знания таксономии, а начальным этапом выделения определенного штамма является получение накопительной культуры из природного образца.

В различных научных институтах поддерживаются коллекции культур пресноводных и морских микроводорослей, созданные с разными целями, но штаммы черноморских цианобактерий в них практически отсутствуют.

В Институте природно-технических систем (ИПТС, Севастополь) была создана региональная Коллекция штаммов черноморских микроводорослей и цианобактерий, зарегистрированная в Проектном офисе управления биоресурсными коллекциями. Следует отметить, что большую часть коллекции составляют цианобактерии. В настоящее время, по заключенному договору о научном сотрудничестве, полученные штаммы цианобактерий депонированы в Ресурсном центре «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ (г. Санкт-Петербург).

Выделение новых штаммов цианобактерий осуществлялось в процессе альгологических исследований различных экотопов прибрежной акватории Крыма.

Для получения накопительной культуры нативный материал (вода, соскобы перифитона и эпилитона, пробы бентоса) культивировали в течение 30–120 суток на жидкой модифицированной среде Громова № 6 (приготовленной на морской воде).

Процедура очистки культур включала несколько методов: 1) посев истощающим штрихом на чашках Петри; 2) изоляция клеток с помощью микропипетки; 3) метод последовательных разведений; 4) очистка от бактериального загрязнения с использованием антибиотика (нистатина) и другие.

Морфологию цианобактерий изучали на прижизненных препаратах с использованием световых микроскопов Levenhuk 740T и Leica DM2500 при увеличении $\times 400$. Фотографирование культур проводилось при помощи цифровых насадок с использованием соответствующих компьютерных программ (Levenhuk ToupView и Leica Application Suite (LAS) и дальнейшей обработкой изображений в программе Adobe Photoshop CS3 Extended. Таксономическую принадлежность микроводорослей устанавливали при помощи определителей [7, 8].

Как показали наши исследования, цианобактерии достаточно широко распространены в различных экотопах прибрежной акватории Чёрного моря, уступая в этом отношении только диатомовым водорослям.

Первичным этапом выделения альгологически чистых штаммов является метод накопительных культур, который заключается в культивировании природного материала на питательной среде в течение длительного времени. В процессе инкубации происходило изменение структуры сообщества вследствие истощения минеральных элементов питательной среды [1]. Параллельно среда обогащалась органическим веществом за счет неизбежного отмирания части клеток водорослей, цианобактерий и бактерий; в этом случае многие фототрофы могли частично или полностью переходить на гетеротрофное питание. Кроме того, некоторые цианобактерии продуцировали многочисленные соединения различной химической природы с широким спектром биологической активности [3], например, метаболиты, действие которых направлено против автотрофных конкурентов. Все это приводило к смене доминирующей формы в пространственно ограниченном сообществе. Доминирующими в этом случае чаще всего были один или несколько видов цианобактерий.

Всего за период исследования 2016–2021 гг. из образцов воды (фитопланктона), перифитона, эпилимниона и бентоса на среде Громова №6, было получено более 100 накопительных культур, из которых к настоящему времени выделено 67 штаммов, а идентифицировано до рода 30 альгологически чистых культур, список которых представлен в табл.1.

Табл. 1 Список коллекционных штаммов цианобактерий, выделенных из различных экотопов прибрежной акватории

Номер штамма	Систематическая принадлежность	Источник выделения
Шт.3-1	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.33	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.36	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.39	<i>Synechococcus</i>	Фитопланктон
Шт.40	<i>Pleurocapsa</i>	Фитопланктон
Шт.47	<i>Synechococcus</i>	Фитопланктон
Шт.48	<i>Pleurocapsa</i>	Фитопланктон
Шт.49	<i>Pleurocapsa</i>	Перифитон
Шт.51	<i>Pseudoanabaena</i>	Фитопланктон
Шт.54	<i>Leptolyngbya</i>	Перифитон
Шт.55	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.62	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.63	<i>Leptolyngbya</i>	Перифитон
Шт.65	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.65А	<i>Pleurocapsa</i>	Фитопланктон
Шт.68	<i>Pseudoanabaena</i>	Эпилимнион
Шт.94	<i>Stigonematales</i>	Фитопланктон
Шт.116	<i>Synechococcus</i>	Перифитон
Шт.121	<i>Nostoc</i>	Бентос
Шт.132	<i>Synechococcus</i>	Бентос
Шт.135	<i>Nodularia</i>	Бентос
Шт.137	<i>Chroococidiopsis</i>	Бентос
Шт.139	<i>Nostoc</i>	Бентос
Шт.140	<i>Leptolyngbya</i>	Эпилимнион
Шт.141	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.142	<i>Nodularia</i>	Бентос
Шт.А2	<i>Leptolyngbya</i>	Фитопланктон
Шт.Г86	<i>Microcystis</i>	Бентос
Шт.Г166	<i>Chroococidiopsis</i>	Бентос
Шт.Г239	<i>Aphanocapsa</i>	Бентос

Как видно из таблицы, наибольшее количество штаммов цианобактерий получено из фитопланктонных и бентосных образцов (15 и 9 штаммов соответственно), четыре – из перифитона и два штамма – из эпилимнионных сообществ (естественное обрастание камней в прибрежной зоне). Выделенные штаммы цианобактерий относились к шести порядкам, включающим 9 родов: Chroococcales (*Microcystis*), Synechococcales (*Synechococcus*, *Aphanocapsa*, *Leptolyngbya*, *Pseudoanabaena*), Pleurocapsales (*Pleurocapsa*),

Chroococciopsidales (*Chroococciopsis*), Nostocales (*Nostoc*, *Nodularia*) и неидентифицированные цианобактерии, предположительно принадлежащие к порядку Stigonematales.

Наиболее широко представленными среди идентифицированных являлись штаммы цианобактерий, относящиеся к роду *Leptolyngbya*. Эти микроорганизмы в основном были выделены из фитопланктонных сообществ (6 из 9). Кроме того, из перифитона изолировано 2 штамма, из эпилимниона – всего один, а из бентоса – ни одного.

Из фитопланктона, помимо шести штаммов *Leptolyngbya*, за период работы было выделено два штамма *Synechococcus*, три штамма *Pleurocapsa*, один – *Pseudanabaena*, а также один неидентифицированный штамм, предположительно относящийся к порядку Stigonematales.

Из перифитонных образцов получено два штамма *Leptolyngbya* и по одному – *Pleurocapsa* и *Synechococcus*. В результате посева и очистки эпилимнионных образцов было получено два штамма, определённых как представители родов *Pseudanabaena* и *Leptolyngbya*.

Девять культур, изолированные из образцов бентоса, взятых на глубине от 12 до 93 м, были представлены шестью родами: *Synechococcus* (2 штамма), *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Chroococciopsis* (2 штамма), *Nostoc* (2 штамма) и *Nodularia* (2 штамма). Следует отметить, что только из донных образцов удалось выделить штамм *Aphanocapsa*, а также штаммы гетероцистных цианобактерий *Nostoc* и *Nodularia*. Представители коллекции показаны на рисунке 1

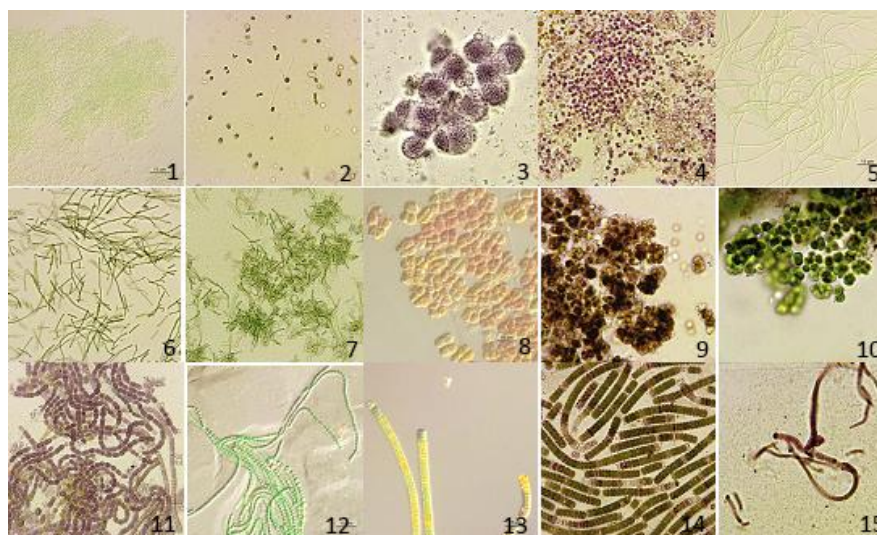


Рис. 1 Штаммы цианобактерий, выделенные из различных экотопов прибрежной акватории Крыма

1 – Шт. Г86 (*Microcystis*); 2 – Шт. 116 (*Synechococcus*); 3 – Шт. 132 (*Synechococcus*);
4 – Шт. Г239 (*Aphanocapsa*); 5 – Шт. 65 (*Leptolyngbya*); 6 – Шт. 141 (*Leptolyngbya*); 7 –
Шт. 51 (*Pseudanabaena*); 8 – Шт. 40 (*Pleurocapsa*); 9 – Шт. 65А (*Pleurocapsa*); 10 – Шт. 137
(*Chroococciopsis*); 11 – Шт. 121 (*Nostoc*); 12 – Шт. 139 (*Nostoc*); 13 – Шт. 135 (*Nodularia*);
14 – Шт. 142 (*Nodularia*); 15 – Шт. 94 (Stigonematales)

Необходимо отметить, что некоторые бентосные цианобактерии (например, штаммы *Synechococcus*, *Aphanocapsa*, *Nostoc*) имели насыщенную фиолетовую окраску, вероятно, вследствие содержания большого количества в клетке фикобилинового пигмента фикоэритрина. Его максимум поглощения световой энергии 565 нм (зелёная область спектра). Именно зелёные лучи глубже всего проникают через толщу воды и поэтому при

освещении зеленым светом преимущество имеют цианобактерии с преобладанием фикоэритрина [5].

В процессе изоляции штаммов из морской среды и последующей их очистки часто возникали трудности в получении альгологически чистых культур. По-видимому, в морских фитосообществах цианобактерии метаболически тесно связаны с другими микроорганизмами. Кроме того, морским цианобактериям свойственен медленный рост на агаризированных средах, колонии при этом появляются только через 2–4 недели, чаще всего очень мелкие и трудно отделяемые от культур-спутников.

Заключение. Создание коллекций различных микроорганизмов, в том числе цианобактерий, в настоящее время является одним из приоритетных направлений биотехнологии. В силу своего древнего происхождения, эти микроорганизмы обладают широким генетическим разнообразием и встречаются практически повсеместно, но особый интерес вызывают их представители, изолированные из экстремальных мест обитания (например, морских глубоководных грунтов). Такие штаммы нередко обладают уникальными биохимическими и физиологическими свойствами, которые можно использовать в фармакологии для создания новых перспективных лекарств. Исходя из этого и в результате многолетних исследований различных экотопов прибрежной акватории Крыма, была создана региональная Коллекция штаммов черноморских микроводорослей и цианобактерий. Штаммы цианобактерий депонированы в Ресурсном центре «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Среди 67 штаммов, составивших коллекцию, 30 являются альгологически чистыми и идентифицированными до рода. Следует учитывать, что в ходе работ, биологические запасы коллекций истощаются. Поэтому для пополнения коллекций необходимо постоянно проводить работы по выделению, селекции и изучению морфологических и физиологических свойств новых штаммов цианобактерий, а их идентификацию до вида осуществлять при помощи молекулярно-генетических методов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева Н.А., Копытина Н.И. Сукцессия таксоценов морских микроводорослей при длительном лабораторном культивировании // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 11(31). С. 95–100. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-1-95-100>
2. Виноградова О.Н., Брянцева Ю.В. Таксономическая ревизия *Cyanobacteria / Cyanoprokaryota* черноморского побережья Украины // *Algologia*. 2017. Вып. 27(4). С. 436–457. <https://doi.org/10.15407/alg27.04.436>
3. Гольдин Е.Б. Массовые виды цианобактерий и микроводорослей в экосистемах: межвидовые взаимоотношения и ко-эволюционный процесс // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. Вып. 7. С. 111–125.
4. Пиневиц А.В. Микробиология. Биология прокариотов: Учебник. В 3 т. Т.3. СПб.: Из-во С.-Петерб. ун-та, 2009. 457 с.
5. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Чёрного моря: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.17. Севастополь, 2009. 44 с.
6. Impacts of Climate Change on the Occurrence of Harmful Algal Bloom [Electronic resource]// United States Environmental Protection Agency. 2013. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/climatehabs.pdf>
7. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1* / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Jena-StuttgartLübeck-Ulm., 1998. 548 p.
8. Komárek J., Anagnostidis K. 2. Oscillatoriales. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2* / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 2005. 759 p.

REFERENCES

1. Andreeva N.A., Kopytina N.I. Successes of marine microalgae taxocenoses during long-term laboratory cultivation // Monitoring systems of environment. 2018:11(31):95-100. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-1-95-100>
2. Vinogradova O., Bryantseva Yu. Taxonomic revision of the species composition of Cyanobacteria/Cyanoprokaryota of the Ukrainian coast of the Black Sea // Algologia. 2017: 27(4):436-457. <https://doi.org/10.15407/alg27.04.436>
3. Gol'din, E.B., Mass microalgal species in ecosystems: interspecific relations and co-evolutionary process // Ekosist., Ikh Optim. Okhr. 2012: 7(26):114-125.
4. Pinevich A.V. Microbiology. Biology of prokaryotes: Textbook. In 3 t. t.3. St. Petersburg. St. Petersburg University, 2009. 457 p.
5. Ryabushko L.I. Microphytobenthos of the Black Sea: Autoref. diss. ... doct. biol. nauk: 03.00.17. Sevastopol, 2009. 44 p.
6. Impacts of Climate Change on the Occurrence of Harmful Algal Bloom [Electronic resource] // United States Environmental Protection Agency. 2013. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/climatehabs.pdf>
7. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm., 1998. 548 p.
8. Komárek J., Anagnostidis K. 2. Oscillatoriales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2 / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 2005. 759 p.

Информация об авторах

Наталья Алексеевна Андреева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Институт природно-технических систем, Севастополь

Дина Данировна Снарская – ведущий специалист, Ресурсный Центр «Культивирование микроорганизмов», Научный Парк СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Мария Сергеевна Емельянова – m.emelyanova@spbu.ru, ведущий специалист, Ресурсный Центр «Культивирование микроорганизмов», Научный Парк СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

Natalia A. Andreeva – PhD in Biological Sciences, senior researcher, Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol

Dina D. Snarskaya – senior specialist, St. Petersburg State University, Research Park, Centre for Culture Collection of Microorganisms, St. Petersburg, Russia

Mariia S. Emelianova – m.emelyanova@spbu.ru, senior specialist, St. Petersburg State University, Research Park, Centre for Culture Collection of Microorganisms, St. Petersburg, Russia

Юлия Михайловна Бачура¹

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь, julia_bachura@mail.ru, <https://orcid.org/0001-9515-2020>

ОЦЕНКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИАНОБАКТЕРИИ РОДА NOSTOC В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования цианобактерии рода *Nostoc*, выделенной из деградированных торфяников Гомельского региона, в качестве стимулятора роста ряда овощных и зерновых культур. Отмечено фитостимулирующее действие суспензии ностока на рост и развитие проростков пшеницы, озимой ржи, ячменя, огурцов и томатов.

Ключевые слова: цианобактерии, фитостимулирующие свойства

Благодарности: Работа выполнена в рамках задания государственной программы научных исследований "Биотехнологии» (№ регистрации 20211709).

EVALUATION OF PHYTOSTIMULATING PROPERTIES OF CYANOBACTERIA OF THE GENUS NOSTOC IN MODEL EXPERIMENTS

Abstract. The article presents the results of the study of cyanobacteria of the genus *Nostoc* isolated from degraded peatlands of Gomel region as a growth stimulator of some vegetable and cereal crops. A phytostimulatory effect of *Nostoc* suspension on the growth and development of wheat, winter rye, barley, cucumber and tomato seedlings was observed.

Keywords: cyanobacteria, phytostimulating properties

Acknowledgments: this work was performed within the framework of the state research program "Biotechnology" (registration number 20211709).

Уникальность цианобактерий как группы прокариотических фототрофных микроорганизмов, способных к азотфиксации и обладающих широким спектром адаптационных механизмов, общеизвестна. В последнее время все больше внимания уделяется изучению биотехнологического потенциала цианобактерий, в том числе возможности их использования в растениеводстве [2-4]. Особый интерес представляют виды-азотфиксаторы отдела *Cyanobacteria*, принимающие активное участие в улучшении структуры почвенного покрова. В данной работе приведены результаты исследования цианобактерии рода *Nostoc*, выделенной из деградированных торфяников Гомельского региона, в качестве стимулятора роста ряда овощных и зерновых культур.

Культивирование цианобактерии осуществляли на основной среде Болда без азота; плотность суспензии *Nostoc* составляла 25,6-25,9 млн клеток на 1 мл суспензии. В качестве тестовых культур использовали пшеницу, озимую рожь, ячмень, огурцы и томаты белорусской селекции. Проведены серии экспериментов без предварительного замачивания семян и с предварительным замачиванием семян на 1, 2 и 4 часа с использованием исходных и разбавленных суспензий ностока. Оценка фитостимулирующих свойств ностока проводили, анализируя энергию прорастания, всхожесть семян, морфометрические показатели растений в контрольных и опытных вариантах [1].

В экспериментах с пшеницей показано, что оптимально проведение предварительного двухчасового замачивания семян в цианобактериальных суспензиях – при использовании исходной и разбавленной суспензий ностока фитозффекты по длине проростков пшеницы составили 40–45 %, по массе проростков – 74–106 %. При использовании в качестве тестовых культур ячменя и озимой ржи наибольшее фитостимулирующее действие выявлено

при предварительном замачивании семян на 1 час, для ячменя – в исходных суспензиях ностока, для озимой ржи – в разбавленных суспензиях цианобактерии; фитозффекты варьировали от 4 % до 37 %. В экспериментах с томатами оптимальным оказалось использование разбавленной суспензии цианобактерии с предварительным замачиванием семян на 1–2 часа; фитозффекты составили 30–64 % по длине проростков и 13–100 % по массе проростков. При выращивании огурцов наибольшее стимулирующее действие отмечено при использовании разбавленной суспензии цианобактерии с предварительным замачиванием семян на 1 час; фитозффекты составили 43–52 % по длине и 27–60 % по массе проростков.

По итогам серии экспериментов установлено статистически подтвержденное фитостимулирующее действие суспензии цианобактерии рода *Nostoc* на рост и развитие проростков пшеницы, озимой ржи, ячменя, огурцов и томатов. Наибольшая эффективность отмечена при предварительной обработке семян суспензией ностока с невысокой плотностью клеток. Исследования выполнены в рамках заданий государственной программы научных исследований «Биотехнологии-2» (НИОКТР №20191297, № 20211709).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. № 4710 : дата введения 1986-07-01. Москва: Изд-во станд., 2001. 30 с.
2. Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) / С. В. Дидович, С. В. Москаленко, А. Д. Темралеева, С.А. Хапчаева // Вопросы современной альгологии. 2017. № 2 (14). URL: <http://algology.ru/1170> (дата обращения: 14.03.2022).
3. Михеева Т. М. Перспективы использования культивируемых и планктонных микроскопических водорослей // Наука и инновации. 2018. № 2 (180). С. 15-19.
4. Шалыго Н. В. Микроводоросли и цианобактерии как биоудобрение // Наука и инновации. 2019. № 3 (193). С. 22-26.

REFERENCES

1. GOST 12038-84. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti: izdanie ofitsial'noe : utverzhdn i vveden v deistvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 19 dekabrya 1984 g. № 4710 : data vvedeniya 1986-07-01. Moskva: Izd-vo stand., 2001. 30 s.
2. Biotekhnologicheskii potentsial pochvennykh tsianobakterii (obzor) / S. V. Didovich, S. V. Moskalenko, A. D. Temraleeva, S. A. Khapchaeva // Voprosy sovremennoi al'gologii. 2017. № 2 (14). URL: <http://algology.ru/1170> (data obrashcheniya: 14.03.2022).
3. Mikheeva T. M. Perspektivy ispol'zovaniya kul'tiviruemykh i planktonnykh mikroskopicheskikh vodoroslei // Nauka i innovatsii. 2018. № 2 (180). S. 15-19.
4. Shalygo N. V. Mikrovodorosli i tsianobakterii kak bioudobrenie // Nauka i innovatsii. 2019. № 3 (193). S. 22-26.

Информация об авторе

Ю.М. Бачура – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений

Information about the author

Y.M. Bachura – Ph.D. (Biol.), Associate Professor

Юлия Михайловна Бачура¹

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь, julia_bachura@mail.ru, <https://orcid.org/-0001-9515-2020>

ДИСЦИПЛИНА «ПОЧВЕННАЯ АЛЬГОЛОГИЯ» В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ МАГИСТРОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ БИОЛОГИЯ В ГГУ ИМЕНИ Ф.СКОРИНЫ

Аннотация. В статье приведены содержание, структура, элементы учебно-методической карты, формы работы и контроля знаний, умений и навыков в рамках дисциплины специальной подготовки обучающихся на второй ступени высшего образования по специальности Биология «Почвенная альгология». Отмечена практико-ориентированная направленность дисциплины; при изучении материала каждого из трех модулей обучающимся предлагаются задания, направленные на формирование как специализированных, так и универсальных компетенций, способствующих качественной подготовке специалиста-биолога на второй ступени высшего образования

Ключевые слова: почвенная альгология, дисциплина специальной подготовки, практико-ориентированная направленность обучения, специальность Биология

Yuliya M. Bachura

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus, julia_bachura@mail.ru, <https://orcid.org/-0001-9515-2020>

THE DISCIPLINE "SOIL ALGOLOGY" IN THE SYSTEM OF TRAINING MASTER'S SPECIALTIES IN BIOLOGY AT F. SKORINA GSU

Abstract. The article presents the content, structure, elements of the educational and methodological map, forms of work and control of knowledge, skills and abilities within the discipline of special training of students at the second stage of higher education in the specialty Biology "Soil Algology". The practice-oriented orientation of the discipline is noted; when studying the material of each of the three modules, students are offered tasks aimed at the formation of both specialized and universal competencies that contribute to the high-quality training of a biologist at the second stage of higher education.

Keywords: soil algology, discipline of special training, practice-oriented orientation of education, specialty Biology

Обучение в магистратуре позволяет существенно повысить профессиональный уровень и расширить возможности трудоустройства специалистов. Согласно образовательному стандарту (ОСВО, 2019), магистр по специальности 1-31 80 01 Биология должен быть компетентен в научно-педагогической, учебно-методической, научно-исследовательской, научно-производственной и инновационной профессиональной деятельности. При этом в условиях практико-ориентированной направленности обучения в настоящее время важным аспектом является формирование у обучающихся способности применять полученные знания в различных ситуациях, решать поставленные проблемы научными методами, уметь работать с различными источниками информации и критически оценивать полученные сведения, выдвигать гипотезы, аргументировано обосновывать высказанную точку зрения, приобретать опыт практической деятельности [2-4].

Учебная дисциплина «Почвенная альгология» относится к циклу дисциплин специальной подготовки обучающихся на второй ступени высшего образования по

специальности Биология в ГГУ имени Ф.Скорины и входит в компонент учреждения высшего образования в составе блока «Прикладные аспекты альгологии и микологии».

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общего профессионального курса первой степени высшего образования по специальности 1-31 01 01-02 «Биология (научно-педагогическая деятельность)» в рамках курсов «Альгология и микология», «Почвоведение», «Микробиология», «Основы биотехнологии» и др.

Изучение дисциплины «Почвенная альгология» предусмотрено магистрантами 2 курса. Общее количество часов для магистрантов дневной формы обучения – 90; аудиторных – 36, из них: лекции – 26, в том числе управляемая самостоятельная работа – 8, практические занятия – 10. Общее количество часов для магистрантов заочной формы обучения – 90; аудиторных – 12, из них: лекции – 8, практические занятия – 4. По итогам изучения дисциплины проходит экзамен.

Целью учебной дисциплины «Почвенная альгология» является формирование у обучающихся целостного представления о почвенных водорослях и цианобактериях, их таксономическом разнообразии, биологии, экологии и возможностях практического использования.

Задачами учебной дисциплины являются:

- формирование у обучающихся представления о почвенных водорослях и цианобактериях, их составе в почве, биологических особенностях и специфике взаимодействия с другими представителями почвенной биоты;
- приобретение знаний о методах изучения почвенных водорослей и цианобактерий, истории их изучения;
- формирование знаний о роли данных групп фотосинтезирующих микроорганизмов почвы в природе и возможностях их практического применения.

Ученый материал дисциплины сгруппирован в три модуля. В рамках первого модуля «История и методы изучения почвенных водорослей и цианобактерий» обучающиеся рассматривают историю почвенно-альгологических исследований, методы выделения, культивирования и идентификации водорослей и цианобактерий почв, особенности работы с коллекциями культур водорослей и изучения альгоцианобактериальных сообществ. Модуль предусматривает практическую работу «Методы изучения почвенных водорослей, цианобактерий и их сообществ», управляемую самостоятельную работу «Организация и функционирование коллекции культур водорослей». Выполнение практической работы проводится в виде круглого стола с выступлениями и обсуждением основных методов изучения почвенных водорослей и цианобактерий.

Модуль «Общая характеристика почвенных водорослей и цианобактерий» объединяет вопросы о составе водорослей и цианобактерий в почвах, их биологических особенностях, составе альгоцианобактериальной флоры почв, влиянии экологических факторов на альгоцианобактериальные сообщества и флору водорослей и цианей в целом. При изучении вопросов модуля магистранты выполняют практические работы «Основные систематические группы водорослей и цианобактерий почв и их характеристика», «Экологическая пластичность почвенных водорослей и цианобактерий», управляемую самостоятельную работу «Альгоцианобактериальная флора целинных и пахотных почв». При выполнении первой практической работы предусмотрено составление магистрантами интеллект-карт по отделам почвенных водорослей и цианобактерий; вторая работа раскрывает понятие экологической пластичности видов и включает поиск представителей альгоцианобактериальной флоры почв с различными диапазонами толерантности по отношению к абиотическим факторам среды.

Модуль «Значение и возможности практического использования почвенных водорослей и цианобактерий» предусматривает изучение роли водорослей и цианобактерий в почве и возможностей применения почвенных водорослей и цианобактерий для решения прикладных задач, в том числе для мониторинга состояния почвенного покрова. В состав

данного модуля входят практические работы «Биотехнологический потенциал почвенных водорослей и цианобактерий», «Альгоцианобактериальные сообщества как показатели почвообразовательных процессов и индикаторы антропогенно-нарушенных почв», управляемая самостоятельная работа по рассмотрению сообществ водорослей и цианобактерий почв, нарушенных различными видами антропогенной нагрузки. Изучение биотехнологического потенциала водорослей и цианобактерий на практическом занятии осуществляется в виде групповой работы с представлением различных направлений биотехнологического использования изучаемых объектов, обсуждения каждого направления. Рассмотрение индикаторной роли почвенных водорослей, цианобактерий и их сообществ проводится в виде анализа данных литературы и интернет-источников с их дальнейшей систематизацией и представлением в виде сообщений.

Контроль основных понятий, знаний и умений, освоенных магистрантами в результате изучения каждого модуля осуществляется в форме контрольной работы или тестирования с разноуровневыми заданиями (уровень узнавания; воспроизведение по памяти; воспроизведение на уровне понимания и применения знаний в знакомой ситуации; применение знаний в незнакомой ситуации; творческая деятельность).

По итогам изучения спецкурса магистранты сдают экзамен, отметка за который определяется как среднее арифметическое из оценки за работу в семестре и балла за ответ на экзамене, что обусловлено действующей в университете модульно-рейтинговой системой оценки знаний.

Изучение дисциплины «Почвенная альгология» направлено на формирование у обучающихся как универсальных, так и специализированных компетенций, способствующих качественной подготовке специалиста-биолога на второй ступени высшего образования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ОСВО 1-31 80 01-2019. Образовательный стандарт высшего образования второй ступени (магистратура): утвержден Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26.06.2019 № 81: введен впервые: дата ведения 2019.10.17. Минск: Министерство образования Республики Беларусь, 2019. С. 386-397.
2. Министерство образования Республики Беларусь: официальный сайт [Электронный ресурс] / Практико-ориентированное обучение в учреждениях образования. Минск, 2017. URL: <http://edu.gov.by>. (дата обращения: 31.01.2021)
3. Селевко Г. К. Технологии развивающего образования. М.: НИИ шк. технологий, 2005. 185 с.
4. Солянкина Л. Е. Проектирование и реализация модели развития профессиональной компетентности в практико-ориентированной образовательной среде // Известия ВГПУ. 2011. № 1 . С. 42-46.

REFERENCES

1. OSVO 1-31 80 01-2019. Obrazovatel`ny`j standart vy`sshego obrazovaniya vtoroj stupeni (magistratura): utverzhden Postanovleniem Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus` ot 26.06.2019 № 81: vveden vpervy`e: data vedeniya 2019.10.17. Minsk: Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus`, 2019. S. 386-397.
2. Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus`: oficial`ny`j sajt [E`lektronny`j resurs] / Praktiko-orientirovannoe obuchenie v uchrezhdeniyax obrazovaniya. Minsk, 2017. URL: <http://edu.gov.by>. (data obrashheniya: 31.01.2021)
3. Selevko G. K. Texnologii razvivayushhego obrazovaniya. M.: NII shk. texnologij, 2005. 185 s.
4. Solyankina L. E. Proektirovanie i realizaciya modeli razvitiya professional`noj kompetentnosti v praktiko-orientirovannoj obrazovatel`noj srede // Izvestiya VGPU. 2011. № 1 . S. 42-46.

Информация об авторе

Ю.М. Бачура – кандидат биологических наук, доцент

Information about the author

Y.M. Bachura – Ph.D. (Biol.), Associate Professor

*Алина Валерьевна Бондарева*¹, *Юлия Михайловна Бачура*²

^{1,2} Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

¹ *bondareva.lina2011@yandex.ru*

² *julia_bachura@mail.ru, <https://orcid.org/-0001-9515-2020>*

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОХРОФИТОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЛЕСНЫХ ПОЧВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРАМИ

Аннотация. Изучен состав охрофитовых водорослей почв постпирогенной территории Ветковского лесничества ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» Гомельской области. Выявлено 11 видов водорослей, входящих в состав классов Xanthophyceae и Eustigmatophyceae; в экологическом отношении преобладали теневыносливые представители Н- и Х-жизненных форм. Отмечена положительная динамика увеличения представленности Ochrophyta с возрастанием времени, прошедшего после пожара. Максимальная трансформация сообществ охрофитовых водорослей выявлена на участках у кроны деревьев.

Ключевые слова: охрофитовые водоросли, таксономический анализ, экологический анализ, пирогенный фактор

TAXONOMICAL AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF ALGAE OF THE OCHROPHYTA DEPARTMENT OF FIRE-DAMAGED FOREST SOILS

*Alina V. Bondareva*¹, *Yuliya M. Bachura*²

^{1,2} Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

¹ *bondareva.lina2011@yandex.ru*

² *julia_bachura@mail.ru, <https://orcid.org/-0001-9515-2020>*

Abstract. The composition of Ochrophyta algae in the soils of the post-pyrogenic territory of the Vetka forestry of the GSLHU “Vetka spetsleskhoz” of the Gomel region was studied. 11 species of algae belonging to the Xanthophyceae and Eustigmatophyceae classes have been identified; in environmental terms, shade-tolerant representatives of N- and X-life forms prevailed. A positive trend in the increase in the representation of Ochrophyta with an increase in the time elapsed after the fire was noted. The maximum transformation of the communities of ochrophytic algae is detected in areas at the crowns of trees.

Keywords: Ochrophyta, taxonomic analysis, environmental analysis, pyrogenic factor

Под влиянием пирогенного фактора в лесных экосистемах происходит нарушение растительного покрова, значительным изменениям подвергается почва с населяющими ее организмами [7]. Трансформацию после огневого воздействия претерпевают и альгоцианобактериальные сообщества, значительный вклад в состав которых в лесных почвах вносят представители отдела Ochrophyta [4,8].

Целью данного исследования являлось изучение и анализ состава охрофитовых водорослей радиоактивно загрязненного сосняка мшистого после низового пожара.

Участок находился в Ветковском лесничестве ГСЛХУ «Ветковский спецлесхоз» Гомельской области (кв. 452-454) на территории с уровнем радиоактивного загрязнения от 4,95 до 39,94 Ки/км². Состав насаждения – 8С2Б, 10С, возраст – 20-90 лет, полнота – 0,5-0,9. Класс бонитета – I-III. Насаждение искусственного происхождения. Местоположение участка повышенное, рельеф волнистый. Почва бедная, слабогумусированная, свежая. Средняя мощность лесной подстилки составляла 1,5 см. Пожар на участке был отмечен в июне 2015 года (низовой, средней интенсивности с пирологической деструкцией

органического покрова почвы – лесной подстилки, а также повреждением древесных растений у основания на высоту до 1 м).

Пробы отбирали в 2018-2019 гг. по общепринятой в почвенной альгологии методике (Костиков, 2001) у крон деревьев, под кронами и между кронами деревьев послойно (0-5 см и 5-10 см); в качестве контроля служили ненарушенные участки леса (фоновые территории).

Выявление состава водорослей и цианобактерий исследуемых почв осуществляли с помощью смешанных накопительных культур «со стеклами обрастания» и агаровых культур [3]. Микроскопирование водорослей и цианобактерий проводили с помощью микроскопа Nikon Eclipse 80i (увеличения $\times 400$, $\times 1000$). Все культуры изучали в живом состоянии. Систематическое положение объектов приводили по данным сайтов Algaebase и CyanoDB, жизненные формы определяли по классификации Э.А. Штиной и М.М. Голлербаха [5,6]. Определение основных агрохимических показателей почвы осуществляли сотрудники Института радиобиологии НАН Беларуси.

Охрофитовые водоросли исследуемых участков были представлены 11 видами, входящими в состав классов Xanthophyceae (72,7 %) и Eustigmatophyceae (27,3 %), порядков Mischococcales (45,4 %), Eustigmatales и Tribonematales (по 27,3 %). Семейственный спектр свидетельствует о преобладании в почве исследуемых участков одноклеточных Eustigmataceae, Pleurochloridaceae, Botrydiopsidaceae и Pseudocharaciopsidaceae (63,6 %), представленных видами родов, *Vischeria*, *Ellipsoidion*, *Botrydiopsis*, *Monodus*, *Pleurogaster* и *Pleurochloris*. Менее представлены были способные к образованию нитей, колоний или групп виды водорослей семейств Heterococcaceae, Centritractaceae и Tribonemataceae (*Heterococcus*, *Bumilleriopsis*, *Tribonema* и *Bumilleria*).

В экологическом отношении среди выявленных охрофитовых водорослей преобладали теневыносливые представители Н- и Х-жизненных форм, неустойчивые против засухи и сильного нагревания (по 36,4 %), что свидетельствует о достаточно высокой степени восстановления данных участков после огневого воздействия [1, 4, 6,]. Также в экологическом спектре выявлены представители Ch-жизненной формы, отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям и обычно обозначаемые как убиквисты.

В первый год исследования было выявлено 7 видов водорослей; преобладали представители класса Xanthophyceae (71,4 %) порядка Mischococcales (42,9 %) семейства Pleurochloridaceae (28,6 %). В экологическом отношении преобладали виды Х-жизненной формы (42,9 %). Все представители были обнаружены на постпирогенных участках, 2 вида – в почве фоновых участков.

В составе альгоцианобактериальных сообществ участков под и между кронами деревьев было выявлено по 4 вида, у крон – 3 вида водорослей отдела Ochrophyta. Следует отметить, что одноклеточные представители *Botrydiopsis* sp. и *Pleurochloris* sp. отмечены только на участках у крон деревьев. С увеличением расстояния от растения-эдификатора отмечено снижение долевого участия видов Ch-жизненной формы в составе Ochrophyta. На участках под кронами и между кронами деревьев преобладали представители Х-жизненной формы (50,0 % – 75,5 %).

Как в почве фоновых, так и в почве всех категорий постпирогенных участков выявлено снижение разнообразия охрофитовых водорослей по профилю почвы. Четкой закономерности в распределении жизненных форм водорослей по профилю почвы в первый год исследования не выявлено.

Сопоставление состава охрофитовых водорослей с агрохимическими показателями почвы показало, что расширение видового богатства и таксономического разнообразия водорослей постпирогенных участков исследуемых территорий связано с увеличением рН почвенного раствора пирогенно-нарушенных участков. Распределение видов по профилю почвы обусловлено изменением ряда агрохимических показателей почвы: увеличением рН, сокращением доли органического вещества, увеличением количества минерального фосфора

и снижением органического фосфора при переходе к более глубоко расположенным слоям почвы.

На второй год исследования отмечено расширение таксономического разнообразия охрофитовых водорослей до 11 видов. В таксономической структуре сохранилось преобладание представителей класса Xanthophyceae (72,7 %) порядка Mischococcales (42,9 %) семейства Pleurochloridaceae (27,3 %). Экологический анализ показал увеличение доли водорослей Н-жизненной формы в 2 раза (до 36,4 %); при этом активно вегетировали виды Х- и Сh-жизненных форм.

В почве постпирогенных участков было выявлено 10 представителей отдела Ochrophyta, в почве фоновых участков – 2 вида. Наибольшим видовым богатством отличались участки у крон деревьев (5 видов), под кронами деревьев охрофитовые водоросли были представлены 4 видами, между кронами – 3 видами. Виды *Monodus* sp., *Heterococcus* sp., *Pleurochloris* sp. были приурочены к участкам у крон деревьев, *Pleurogaster* sp. – к участкам под кронами деревьев, *Tribonema* sp. и *Bumilleria* sp. – к участкам между кронами деревьев. В почве фоновых и постпирогенных участков по профилю почвы отмечено снижение видового богатства охрофитовых водорослей и уменьшение доли представителей Н-жизненной формы в экологических спектрах.

Сравнение данных о составе Ochrophyta агрохимическими показателями почвы за второй год исследования показало, что расширение видового состава водорослей и их таксономического разнообразия связано с содержанием подвижного и минерального фосфора в почве.

Таким образом, сукцессионные процессы, происходящими на нарушенных территориях затрагивают и почвенную альгоцианобактериальную флору, в том числе охрофитовые водоросли. Пирогенный фактор приводит к расширению таксономического и экологического состава охрофитовых водорослей в почве сосняка мшистого. Отмечена положительная динамика увеличения представленности Ochrophyta с возрастанием времени, прошедшего после пожара. Максимальная трансформация сообществ охрофитовых водорослей отмечена на участках у крон деревьев, отличающихся наибольшим огневым воздействием и, как следствие, появлением открытых пространств, снижением конкуренции вследствие выгорания мохового покрова, стимулирующим действием золы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексахина Т. И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов М.: Наука, 1984. 149 с.
2. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / І. Ю. Костіков [та інш.]. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 300 с.
3. Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 151 с.
4. Почвенные водоросли антропогенно нарушенных экосистем: монография. П Ж. Ф. Пивоварова [и др]. Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. 145 с.
5. Трухницкая С. М., Чижевская М. В. Альгофлора рекреационных территорий Красноярской урбоэкосистемы: монография. Красноярск: Красноярский гос. аграрный ун-т, 2008. 134 с.
6. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. Москва: Наука, 1976. 143 с.
7. Щербов Б. Л., Лазарева Е. В., Журкова И. С. Лесные пожары и их последствия (на примере сибирских объектов): монография. Новосибирск : Гео, 2015. 153 с.
8. Myers Ph. E., Davis J. S. Recolonization of soils by algae in a northcentral Florida pine forest after controlled fire and soil sterilization // Nova Herwigia. 2003. № 76. P. 207-219.

REFERENCES

1. Aleksaxina T. I., Shtina E. A. Pochvenny`e vodorosli lesny`x biogeocenzov M.: Nauka, 1984. 149 s.
2. Vodorosti gruntiv Ukraïni (istoriya ta metodi doslidzhennya, sistema, konspekt flori) / I. Yu. Kostikov [ta insh.]. Kiïv: Fitosocziocentr, 2001. 300 s.
3. Gajsina L. A., Fazlutdinova A. I., Kabirov R. R. Sovremenny`e metody` vy`deleniya i kul`tivirovaniya vodoroslej: uchebnoe posobie. Ufa: Izd-vo BGPU, 2008. 151 s.
4. Pochvenny`e vodorosli antropogenno narushenny`x e`kosistem: monografiya. P Zh. F. Pivovarova [i dr]. Novosibirsk: Izd-vo NGPU, 2014. 145 s.
5. Truxniczkaya S. M., Chizhevskaya M. V. Al`goflora rekreacionny`x territorij Krasnoyarskoj urboe`kosistemy`: monografiya. Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gos. agrarny`j un-t, 2008. 134 s.
6. Shtina E. A., Gollerbax M. M. E`kologiya pochvenny`x vodoroslej. Moskva: Nauka, 1976. 143 s.
7. Shherbov B. L., Lazareva E. V., Zhurkova I. S. Lesny`e pozhary` i ix posledstviya (na primere sibirskix ob`ektov): monografiya. Novosibirsk : Geo, 2015. 153 s.
8. Myers Ph. E., Davis J. S. Recolonization of soils by algae in a northcentral Florida pine forest after controlled fire and soil sterilization // Nova Herwigia. 2003. № 76. P. 207-219.

Информация об авторах

А.В. Бондарева – преподаватель-стажер.

Ю.М. Бачура – кандидат биологических наук, доцент.

Алина Александровна Горбатенко¹

*Государственное учреждение образования «Шерстинская базовая школа»,
Ветковский район Гомельской области, Беларусь, alina.gorbatenko.0002@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ ПОЧВЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *VISCHERIA MAGNA* НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ОГУРЦОВ И ТОМАТОВ

Аннотация. Представлены результаты серии экспериментов по изучению влияния суспензии микроводоросли рода *Vischeria* на рост и развитие некоторых овощных культур. Показано, что эффективность применения водорослей в качестве стимуляторов роста огурцов и томатов зависит от времени предварительного замачивания их семян в суспензии микроводоросли, а также от способа и формы внесения фотосинтезирующего микроорганизма.

Ключевые слова: микроводоросли, почва, фитозффект, стимулирующее действие

Alina A. Gorbatenko

State Educational Institution “Sherstinskaya basic school”, Vetkovsky district of Gomel region, Belarus, alina.gorbatenko.0002@mail.ru

EFFECT OF SUSPENSION OF THE SOIL MICROALGAE *VISCHERIA MAGNA* ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF CUCUMBERS AND TOMATOES

Abstract. The results of a series of experiments to study the effect of suspension of microalgae of the genus *Vischeria* on the growth and development of some vegetable crops are presented. It is shown that the effectiveness of the use of algae as growth stimulators of cucumbers and tomatoes depends on the time of preliminary soaking of their seeds in a suspension of microalgae, as well as on the method and form of application of the photosynthetic microorganism.

Keywords: microalgae, soil, phytoeffect, stimulating effect

Одним из направлений исследования биотехнологического потенциала фотосинтезирующих микроорганизмов является изучение возможностей их применения в качестве биоудобрений и/или стимуляторов роста высших растений [4,5,8].

Почвенная водоросль *Vischeria magna* (J.B.Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl – типичный представитель альгофлоры, встречающийся в различных почвах, в том числе и антропогенно-преобразованных, что свидетельствует о высокой пластичности вида к неблагоприятным условиям среды [2,7]. Общеизвестной является и перспективность использования данного представителя для получения липидов, белков, жирных кислот, эйкозапентаеновой кислоты, пигментов, каротиноидов и др. [6].

Целью настоящего исследования являлось изучение возможностей использования микроводоросли *Vischeria magna* при выращивании огурцов и томатов открытого грунта.

Культивирование водоросли проводили на основной среде Болда при температуре (20±3) °С при 10/14 часовом чередовании световой и темновой фаз и освещении 3500-4000 лк с барботированием в дневное время. Плотность клеток *Vischeria magna* в культуре составила 29,7-29,8 млн клеток на 1 мл культуры.

Выполнение работы осуществляли в 2 этапа: 1) серия лабораторных экспериментов, 2) полевой эксперимент. При проведении лабораторных экспериментов в качестве тестовых культур использовали сорта белорусской селекции – огурцы (*Cucumis sativus* L.) сорта Малыш и томаты (*Solanum lycopersicum* L.) сорта Перемога 165 [1]. Семена отбирали по размерам и раскладывали на двух слоях фильтровальной бумаги в пластиковые емкости (50

семян для каждого варианта опыта). В стаканы приливали по 5 мл жидкости соответствии с вариантами опыта: контроль I (среда Болда); контроль II (дистиллированная вода); опыт I (суспензия водоросли исходная); опыт II (суспензия водоросли, разбавленная 1:1 дистиллированной водой). Серия экспериментов при этом включала 4 блока: без предварительного замачивания семян, с замачиванием семян на 1, 2 и 4 часа. Эксперименты проводили при естественном освещении, при $t 22 \pm 3^\circ\text{C}$. На 3 и 7 сутки доливали по 2 мл жидкости в соответствии с вариантами опыта. В ходе экспериментов определяли энергию прорастания и всхожесть семян, измеряли морфометрические показатели проростков, учитывали поражение семян плесневыми грибами [3].

Полевой эксперимент выполняли на базе ОАО «Комбинат «Восток» Гомельского района Гомельской области. В качестве тестовых культур использовали огурцы сорта Сатина и томаты сорта Намиб, которые выращиваются в данном хозяйстве. При проведении полевого эксперимента применяли варианты опыта, апробированные в лабораторных экспериментах. Суспензию водорослей под растения вносили дважды с интервалом в один месяц в объеме 150 мл под один экземпляр растения; в начале и после окончания эксперимента измеряли морфометрические показатели объектов, отбирали почвенные образцы для определения основных агрохимических показателей. Анализ образцов почвы на содержание рН, фосфора, калия, органического вещества, кальция, магния, меди, цинка, общего азота проводился сотрудниками КУП «Гомельская ОПИСХ».

Статистическую обработку данных проводили с помощью программных продуктов Statistica (Version 10) и Microsoft Excel.

В серии лабораторных экспериментов с томатами наибольшие показатели энергии прорастания наблюдали при предварительном замачивании семян на 2 часа в разбавленной суспензии водоросли (90 %), всхожести – при предварительном замачивании семян на 4 часа в дистиллированной воде (98 %). Максимальная средняя длина корней проростков томатов отмечена в эксперименте с замачиванием семян на 2 часа при использовании разбавленной суспензии *Vischeria magna* (97,94 мм), средняя длина побегов и масса проростков – в варианте опыта без предварительного замачивания семян (38,02 мм и 48 г соответственно).

По итогам серии экспериментов с томатами выявлено как положительное, так и отрицательное действие суспензии *Vischeria magna* на развитие проростков томатов. Ингибирующее влияние водоросли наблюдали в некоторых вариантах опыта с исходной суспензией вишерии при увеличении времени замачивания семян до 4 часов. Наибольшие фитозффекты по длине проростков томатов установлены при использовании разбавленной суспензии *Vischeria magna* – фитозффекты варьировали в пределах (40-90) % относительно контроля с дистиллированной водой и (7-68) % относительно контроля со средой Болда. Наибольшее стимулирующее действие на массу проростков томатов оказала разбавленная суспензия микроводоросли – фитозффекты находились в пределах от 68 % до 115 % относительно контроля с водой и от 2 % до 26 % относительно контроля с основной средой Болда.

В серии лабораторных экспериментов с огурцами энергия прорастания и всхожесть семян были выше, чем в экспериментах с томатами. Энергия прорастания семян огурцов составила (24-100) %, всхожесть – (92-100) %; наибольшие показатели отмечены в контрольных вариантах опыта без и с замачиванием семян на 1 час. Максимальные показатели средней длины корней проростков огурцов зафиксированы при использовании разбавленной суспензии *Vischeria magna* в эксперименте с замачиванием семян на 1 час (150,1 мм), длины побегов – в варианте опыта с замачиванием семян в исходной культуре на 2 часа (42,8 мм), массы проростков – в варианте опыта с замачиванием семян на 1 час в разбавленной культуре микроводоросли (345 мг).

По итогам проведения экспериментов с огурцами установлено и статистически подтверждено, что суспензия микроводоросли *Vischeria magna* оказывает стимулирующее действие на длину и массу проростков огурцов во всей серии проведенных экспериментов. Наибольшие фитозффекты выявлены в эксперименте с предварительным замачиванием

семян на 4 часа при использовании разбавленной суспензии водоросли: по длине проростков – 72 % относительно контроля с дистиллированной водой и 71 % относительно контроля со средой Болда, по массе проростков – 51 % и 99 % соответственно.

Анализ основных агрохимических показателей опытных делянок в рамках полевого эксперимента показал, что почва на участках кислая или близка к нейтральной, хорошо обеспечена основными макро- и микроэлементами. После проведения эксперимента отмечены незначительные изменения показателей, что связано с комплексным влиянием ряда факторов.

По итогам проведенного полевого эксперимента показано, что суспензия микроводоросли *Vischeria magna* оказывает стимулирующее действие на ряд морфометрических показателей огурцов и томатов. Наибольшее стимулирующее действие на томаты сорта Намиб выявлено в отношении количества цветков при использовании разбавленной суспензии микроводоросли (31 % – 202 %). Наибольшее стимулирующее действие на огурцы сорта Сатина установлено по отношению к количеству цветков при использовании исходной суспензии микроводоросли (6 % – 44 %).

Выполненное исследование показало, что эффективность применения суспензии микроводоросли *Vischeria magna* в качестве стимулятора роста огурцов и томатов зависит от времени предварительного замачивания их семян в суспензии микроводоросли, а также от способа и формы внесения фотосинтезирующего микроорганизма. Результаты исследования могут быть использованы в области сельского хозяйства и биотехнологии для поиска видов водорослей перспективных для практического использования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аутко А. А., Гануш Г. И., Забара Ю. М. Современные технологии в овощеводстве: монография. Мн.: Беларус. навука, 2012. 490 с.
2. Бачура Ю. М. Почвенные водоросли и цианобактерии антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона): монография. Чернигов: Десна Полиграф, 2016. 148 с.
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. № 4710 : дата введения 1986-07-01. Москва: Изд-во станд., 2001. 30 с.
4. Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) [Электронный ресурс] / С. В. Дидович, С. В. Москаленко, А. Д. Темралеева, С. А. Хапчаева // Вопросы современной альгологии. 2017. № 2 (14). URL: <http://algology.ru/1170> (дата обращения: 14.11.2021)
5. Михеева Т. М. Перспективы использования культивируемых и планктонных микроскопических водорослей // Наука и инновации. 2018. № 2 (180). С. 15-19.
6. Патент № 2661116 Российская Федерация, С12R1/645, С12N1/12, С12P7/64. Штамм одноклеточной микроводоросли *Eustigmatos magnus* – продуцент эйкозапентаеновой кислоты: № 2017143643: заявл. 13.12.2017 опубл.: 11.07.2018 / Кузьмин Д. В., Гусев Е. С., Петрушкина М. А., Патова Е. Н., Новаковская И. В.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Соликсент». 4 с.
7. Сафиуллина Л. М., Кабиров Р. Р., Болдина О. Н. Эколого-биологические и цитологические особенности рода *Eustigmatos* (B.Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta): монография. Уфа : Гилем, 2012. 119 с.
8. Шальго Н. В. Микроводоросли и цианобактерии как биоудобрение // Наука и инновации. 2019. № 3 (193). С. 22-26.

REFERENCES

1. Autko A. A., Ganush G. I., Zabara Yu. M. *Sovremennyye tekhnologii v ovoshhevodstve: monografiya*. Mn.: Belarus. navuka, 2012. 490 s.
2. Bachura Yu. M. *Pochvennyye vodorosli i cianobakterii antropogenno-preobrazovannykh pochv (na primere Gomel'skogo regiona): monografiya*. Chernigov: Desna Poligraf, 2016. 148 s.
3. GOST 12038-84. *Semena sel'skoxozyajstvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskozhesti: izdanie oficial'noe : utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 19 dekabrya 1984 g. № 4710 : data vvedeniya 1986-07-01*. Moskva: Izd-vo stand., 2001. 30 s.
4. *Biotekhnologicheskij potencial pochvennykh cianobakterij (obzor) [Elektronnyj resurs]* / S. V. Didovich, S. V. Moskalenko, A. D. Temraleeva, S. A. Xapchaeva // *Voprosy sovremennoj algologii*. 2017. № 2 (14). URL: <http://algology.ru/1170> (data obrashheniya: 14.11.2021)
5. Mixeeva T. M. *Perspektivy ispol'zovaniya kul'tiviruemykh i planktonnykh mikroskopicheskix vodoroslej* // *Nauka i innovacii*. 2018. № 2 (180). S. 15-19.
6. Patent № 2661116 Rossijskaya Federaciya, C12R1/645, C12N1/12, C12P7/64. *Shtamm odnokletochnoj mikrovodorosli Eustigmatos magnus – producent e'kkozapentaenovej kisloty*: № 2017143643: zayavl. 13.12.2017 opubl.: 11.07.2018 / Kuz'min D. V., Gusev E. S., Petrushkina M. A., Patova E. N., Novakovskaya I. V.; zayavitel' Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Soliksant». 4 s.
7. Safiullina L. M., Kabirov R. R., Boldina O. N. *E'kologo-biologicheskie i citologicheskie osobennosti roda Eustigmatos (B.Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta): monografiya*. Ufa : Gilem, 2012. 119 s.
8. Shalygo N. V. *Mikrovodorosli i cianobakterii kak bioudobrenie* // *Nauka i innovacii*. 2019. № 3 (193). S. 22-26.

Информация об авторе

А.А. Горбатенко – учитель биологии и химии ГУО «Шерстинская базовая школа».

Кирилл Константинович Горин¹, Раиса Николаевна Белякова²

^{1,2}Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия,

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия,

¹gorinbio@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1730-8514>

²RBelyakova@binran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7428-6222>

*Автор, ответственный за переписку: Кирилл Константинович Горин,
gorinbio@gmail.com

СИАНОПРОКАРИОТА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАКАЗНИКА БЕРЕЗОВЫЕ ОСТРОВА (ФИНСКИЙ ЗАЛИВ, БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Аннотация. В прибрежье архипелага Берёзовые острова, имеющего статус заказника, обнаружено 86 видов Цианопрокариота из 35 родов, 17 семейств и 7 порядков. Преобладали бентосные виды над планктонными – 60 и 26 видов соответственно. По отношению к солёности воды ведущую роль играли пресноводные и пресноводно-солонатоводные виды (23 и 20 видов соответственно). Впервые для заказника отмечены *Dolichospermum ellipsoides* (Boloch. ex Woron.) Wacklin и *Woronichinia karelica* Komárek et Komárk.-Legn. – охраняемые в Ленинградской области уязвимые виды. 15 видов впервые указаны для российской акватории Финского залива.

Ключевые слова: Цианопрокариота, Цианобактерия, Балтийское море, Финский залив, Берёзовые острова

Благодарности. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург). Работа выполнена в рамках плановой темы БИН РАН «Флора и систематика водорослей, лишайников и мохообразных России и фитогеографически важных регионов мира» (121021600184-6).

CYANOPROKARYOTA OF COASTAL ZONE OF BEREZOVYE ISLANDS NATURE RESERVE (GULF OF FINLAND, BALTIC SEA)

Abstract. In coastal zone of Berezovye Islands archipelago, which has the status of a nature reserve, was recorded 87 species Cyanoprokaryota from 35 genres, 17 families and 7 orders. Benthic species prevailed over planktonic ones – 60 and 26 species respectively. In relation to salinity freshwater and freshwater-brackish-water species play leading role (23 and 20 species respectively). Recorded for the first time vulnerable in Leningrad area species – *Dolichospermum ellipsoides* (Boloch. ex Woron.) Wacklin and *Woronichinia karelica* Komarek et Komarek.-Legend. 15 species is new for Russian part of Gulf of Finland.

Key words: Cyanoprokaryota, Cyanobacteria, the Baltic Sea, the Gulf of Finland

Acknowledgments: The work was fulfilled using laboratory equipment of the Core Facility Center “Cell and Molecular Technologies in Plant Science” at the Komarov Botanical Institute RAS (Saint-Petersburg, Russia) under the planned theme “Flora and systematics of algae, lichens and mosses of Russia and phytogeographic important regions of the world” (121021600184-6).

Региональный природный заказник «Берёзовые острова» располагается в Выборгском районе Ленинградской области и включает в себя территорию островов одноимённого архипелага, а также прилегающую к ним морскую акваторию от пролива Бёркезунд до линии о. Рондо – банка Усердие – банка Нестор – банка Агамемнон. Ландшафты побережий

представлены холмами, грядами, склонами, террасами, равнинами, песчаными пляжами и зарастающими берегами [1]. С 1994 г. район признан водно-болотными угодьями международного значения, а с 1996 г. имеет статус регионального государственного природного комплексного заказника. Сведения о цианопрокариотах морской части заказника ограничены данными о фитопланктоне пролива Бьёркезунд – 45 видов [2] и указанием 1 бентосного охраняемого в Ленинградской области вида [3,4].

Материал был собран в прибрежной зоне островов Северный Берёзовый, Цепной, Западный Берёзовый, Малый Солнечный и Большой Берёзовый летом 2013, 2019 и 2020 гг. Отбирали качественные пробы планктона и бентоса (высшие водные растения, водоросли, твёрдые и рыхлые грунты, раковины моллюсков, древесные субстраты). Идентификация таксонов проводилась с использованием монографий J. Komárek, K. Anagnostidis [5,6] и J. Komárek [7].

Выявлено 86 видов из 35 родов, 17 семейств и 7 порядков. Наибольшим таксономическим разнообразием отличался порядок Synecococcales, включающий 31 вид из 13 родов и 4 семейств. Порядок Nostocales был представлен 23 видами из 9 родов и 5 семейств, Oscillatoriales – 16 видами из 6 родов и 2 семейств, Chroococcales – 7 видами 3 родов и 3 семейств, Pseudanabaenales – 6 видами из 2 родов и 1 семейства, Pleurocapsales – 2 видами из 2 родов и 2 семейств, Chroococciopsidales – 1 видом и родом. По количеству видов преобладали роды *Leptolyngbya* Anagn. et Komárek и *Dolichospermum* (Lemmerm.) Wacklin, содержащие по 8 видов, а также *Phormidium* Kütz. ex Gomont – 6 видов.

В составе флоры 60 видов, или 70%, являются бентосными. Большинство из них обнаружено в эпифитоне и эпилитоне (14 и 13 видов соответственно); на рыхлых грунтах, в эпипелоне, зарегистрировано 11 видов; 2 вида *Pseudanabaena* sp. 3 и *Leptolyngbya* cf. *crassior* (Skuja) Anagn. встречались исключительно на погруженных в воду древесных субстратах. Остальные бентосные виды проявляли более широкую экологическую пластичность, поселяясь на разных субстратах: на камнях и растениях – 6 видов – *Merismopedia affixa* P.G.Richt., *Heteroleibleinia pusilla* (Hansg.) Compère, *H. willei* (Setch. et N.L. Gardner) Guiry et D.M. John, *Leptolyngbya* cf. *breviarticulata* (Claus) Anagn., *L. subtilis* (W. West) Anagn., *Leibleinia subtilis* (Holden) Anagn. et Komárek; на рыхлых грунтах, высших водных растениях и водорослях зарегистрированы *Merismopedia tenuissima* Lemmerm. и *Nostoc punctiforme* Har., на рыхлых и каменистых субстратах отмечен вид – *Aphanocapsa reinboldii* (P.G. Richt.) Komárek. В эпилитоне и на древесине зарегистрированы *Calothrix contarenii* Born. et Flah., *Rivularia nitida* C. Agardh ex Born. et Flah., *Phormidium* cf. *bulgaricum* (Komárek) Anagn. et Komárek, *Nodularia litorea* Thuret ex Komárek и *Aphanocapsa litoralis* Hansgirg. В бентосе – преимущественно на рыхлых грунтах и в выжимках нитчатых водорослей встречено 15 типично планктонных видов, вероятно попавших из толщи воды. Обычных для морей умеренной зоны эндолитов, эпизоидов и хазмолитов, обнаружено не было. Только 26 видов из родов *Aphanizomenon* Morren ex Born. et Flah., *Dolichospermum*, *Microcystis* Lemmerm., *Chroococcus* Nägeli и др. – планктонные.

Преобладающее большинство видов распределено на глубинах 0 – 2 м, лишь 5 видов (6%) обнаружены на глубине до 5 м.

Среди видов, встречающихся наиболее часто и при этом массово отмечены *Dolichospermum lemmermannii* (Richter) Wacklin, *Nodularia spumigena* K.N. Mert. ex Born. et Flah., *N. litorea*, *Lyngbya aestuarii* Liebm. ex Gomont и *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák.

По отношению к солёности воды - большинство видов являлись пресноводными и пресноводно-солонатоводными – 23 и 20 видов соответственно, 8 видов – солонатоводными, 4 солонатоводно-морскими и 3 эвригалинными. Для 28 видов галобные характеристики не установлены. Такое распределение видов по группам галобности связано с особенностями солёности воды в прибрежье архипелага, варьировавшей от 2 до 4.5‰, что позволяло вегетировать, как континентальным, так и морским видам.

Впервые для заказника отмечены охраняемые в Ленинградской области уязвимые виды *Dolichospermum ellipsoides* и *Woroninicinia karelica*, а также подтверждено наличие *Microcrocis sabulicola* (Lagerh.) Geitler.

15 видов Cyanoprokaryota впервые указаны для российских вод Финского залива

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Природная среда и биологическое разнообразие архипелага Березовые острова (Финский залив) / Н. М. Алексеева, А. Г. Бубличенко, Ю. Н. Бубличенко [и др.]. – Санкт-Петербург: Бостон-спектр, 2007. – 368 с.
2. Природная среда побережья и акватории Финского залива (район порта "Приморск") / А. Г. Бубличенко, Ю. Н. Бубличенко, В. В. Гальцова [и др.]. – Санкт-Петербург: Бостон-Спектр, 2003. – 128 с.
3. Красная книга природы Ленинградской области. Т. 2. Растения и грибы. / отв. ред. Н. Н. Цвелев. Санкт-Петербург: Изд-во Мир и семья, 2000. — 672 с.
4. Красная книга Ленинградской области: Объекты растительного мира. / гл. ред. Д. В. Гельтман. Санкт-Петербург: Изд-во Марафон, 2018. — 847 с.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Part: Chroococcales. Berlin: Spektrum. 1998. –548 p.
6. Komárek J., Anagnostidis K., Cyanoprokaryota. 2. Teil. Part: Oscillatoriales. Berlin: Spektrum. 2005. –759 p.
7. Komárek J., Cyanoprokaryota. 3. Teil. 3rd part: Heterocytous genera. Berlin: Springer Spektrum. 2013. – 1133 p.

REFERENCES

1. Natural environment and biological diversity of the Berezovy Islands archipelago (the Gulf of Finland) / N.M. Alekseeva, A. G. Bublichenko, J. N. Bublichenko [and others]. Saint – Petersburg: Boston-spektr, 2007. – 368 p.
2. Natural environment of the cost and water area of the Gulf of Finland (Primorsk Port area) / A. G. Bublichenko, J. N. Bublichenko, V. V. Galtzova [and others]. Saint – Petersburg: Boston-spektr, 2007. – 368 p.
3. Red Data Book of Nature of the Leningrad Region Vol. 2. Plants and Fungi. — Saint – Petersburg: World and Family, 2000. — 672 c.
4. Red Data Book of the Leningrad Region: Objects of the plant world. — Saint – Petersburg: Marathon. 2018. — 847 p.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Part: Chroococcales. Berlin: Spektrum. 1998. –548 p.
6. Komárek J., Anagnostidis K., Cyanoprokaryota. 2. Teil. Part: Oscillatoriales. Berlin: Spektrum. 2005. –759 p.
7. Komárek J., Cyanoprokaryota. 3. Teil. 3rd part: Heterocytous genera. Berlin: Springer Spektrum. 2013. – 1133 p.

Информация об авторах

К.К. Горин – аспирант (БИН РАН), ассистент (РГПУ им. А.И. Герцена);

Р.Н. Белякова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Ирина Евгеньевна Дубовик¹, Марина Юрьевна Шарипова²

^{1,2} ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

¹ dubovikie@mail.ru <http://orcid.org/0000-0002-0832-6983>

² sharipovamy@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-0907-5984>

ОБЗОР АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАШКОРТОСТАНЕ

Аннотация. Кратко рассмотрена история становления водной и почвенной альгологии. Приведен обзор современных альгологических исследований Башкортостана, которые охватили основные природные ландшафты республики, агроценозы, урбанизированные и особо охраняемые природные территории.

Ключевые слова: альгология, цианобактерии, водоросли.

Irina E. Dubovik¹, Marina Ju. Sharipova²

^{1,2} Bashkir State University, Ufa, Russia

¹ dubovikie@mail.ru <http://orcid.org/0000-0002-0832-6983>

² sharipovamy@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-0907-5984>

REVIEW OF ALGOLOGICAL RESEARCH IN BASHKORTOSTAN

Abstract. The history of the formation of water and soil algology is briefly considered. A review of modern algological studies of Bashkortostan, which covered the main natural landscapes of the republic, agrocenoses, urbanized and specially protected natural areas, is given.

Keywords: algology, cyanobacteria, algae

В 1883 г. появилась первая работа, посвященная изучению водорослей водоемов РБ, выполненная Ю.К. Шеллем [14]. Уфимский центр альгологии начал формироваться в 70-е годы прошлого века на кафедре Башкирского государственного университета, когда Г.Г. Кузяхметов выполнил кандидатскую диссертацию на тему: «Альгофлора выщелоченного чернозема Башкирии и влияние на нее различных приемов агротехники». В 1978 г. Р.Р. Кабиров защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Особенности сезонной динамики и продуктивности почвенных водорослей (на примере Башкирского Предуралья)», это послужило отправной точкой начала альгологических исследований в Башкирском государственном педагогическом университете [6]. Развитию данного направления способствовали тесные связи с Кировским центром (основатель Эмилия Адриановна Штина), с Ленинградским Еленкинско-Голлербаховским (лаборатория альгологии Ботанического института), также были установлены научные связи с Московским, Новосибирским, Киевским и Сыктывкарским центрами.

В настоящее время альгологами РБ изучены и продолжают изучаться основные ландшафты республики и прилегающих территорий [3, 7, 12, 21]. Исследованы цианобактерии и водоросли зональных почв степи и лесостепи, под лесными, луговыми сообществами, часть работ посвящена изучению альгоценозов агрофитоценозов, при этом для характеристики альгоценозов широко применяются флористические показатели. Методы изучения сообществ водорослей и цианобактерий почв адаптированы к флористической классификации с использованием подхода Браун-Бланке (Г.Г. Кузяхметов, И.Е. Дубовик, М.Ю. Шарипова, Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова, Д.И. Ахмедьянов) [1, 7, 10]. Синтаксономическое направление позволило выделить синтаксоны урбанизированных территорий Южно-Уральского региона на уровне класса, порядков, союзов, ассоциаций и субассоциаций (Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова, Л.С. Хайбуллина, Ш.Р. Абдуллин) [1, 10].

Поскольку в республике большой процент пахотных почв. Актуальной проблемой была и остается эрозия почв. Изучаются цианобактериально водорослевые ценозы (ЦВЦ) пахотных и целинных почв различной степени эродированности (смытости), вопросы перемещения этих организмов под действием климатических и антропогенных факторов и поселение их на различных субстратах. Показаны изменения показателей ЦВЦ при проведении различных агротехнических мероприятий, обсуждается концепция трансформации ЦВЦ почв, подверженных процессам водной и водно-ветровой эрозии [16]. Изучены некоторые вопросы биоремедиации нефтезагрязненных почв.

На урбанизированных территориях (города и поселки) и природных изучаются аэрофильные цианобактерии и водоросли. Отдельный блок - эпифитные ЦВЦ, которые зачастую выступают в роли детерминантов консорции (здесь поселяются другие виды водорослей, бактерии, микромицеты, простейшие). Анализ базы данных (отобрано и просмотрено более 500 образцов коры древесной растительности) позволил сделать вывод о том, что таксономический и экологический состав наземных эпифитных ЦВЦ не может быть использован для биомониторинга, так как в эпифитных образцах промышленной зоны, не зафиксировано существенных изменений в перестройке ЦВЦ по сравнению с контролем. Отсутствовали морфометрические и цитологические различия между клетками цианопрокариот и водорослей исследованных зон. В тоже время состав микромицетов в разрастаниях существенно менялся. В промышленной зоне увеличивалось число патогенных микромицетов [18].

Проведено изучение эколого-флористической и структурной организации экотонов (природных и сформированных под влиянием человека); выявлен видовой состав водорослей экотонов Башкирского (Южного) Урала и дана их экологическая характеристика. Показано, что водно-наземные и водные экотоны играют большую роль в поддержании биологического разнообразия альгоценозов на ландшафтном, региональном и биотопическом уровнях. В настоящее время изучается изменение ЦВЦ водных экотонов, выявляется их антропогенная трансформация. Также продолжает исследования, связанные с состоянием водных и наземных эпифитных цианобактерий и водорослей в природных экосистемах и подвергающихся антропогенной трансформации [12,22].

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) также являются объектом изучения альгологов [17,19, 22]. Подробно изучены альгологические особенности пещеры Шульган-Таш. К настоящему времени в пещерах основных спелеорайонов России установлен не только альгологический состав, но изучены различные пути заноса этих организмов в пещеры, а также разногодичная и сезонная динамика их таксономического состава; показано, что разнообразие цианобактерий и водорослей в пещерах определяется абиотическими и антропогенными факторами; отмечено, что беспозвоночные животные-фитофаги пещер практически не оказывают влияния на цианобактерии и водоросли [19]. Проведены синтаксономические исследования донных сообществ водорослей-макрофитов российского шельфа Черного моря и разрабатывает теоретические вопросы синтаксономии сообществ цианобактерий и водорослей [1]. Уделяется внимание вопросу биокоррозии, проводятся исследования влияния различных видов цианобактерий и водорослей, а также их сообществ на различные виды стали магистральных трубопроводов (натурные и лабораторные эксперименты).

Подробное изучение цианобактерий и водорослей водного бассейна республики было начато с исследования фитопланктона озера Кандры-куль, затем были охвачены река Белая, а также другие разнотипные водоемы на территории РБ, включая малые реки городов республики [15].

В настоящее время успешно развивается направление в почвенной альгологии - антропогенная альгология [9,10]. Цель заключается в исследовании роли ЦВЦ в поддержании устойчивости наземных экосистем в условиях антропогенного пресса. Работы велись на месте нефтяных месторождений, в районе действия металлургических

предприятий Урала, Архангельской и Мурманской областей, в окрестностях Белоярской и Чернобыльской АЭС. Результаты исследований использованы сотрудниками Лаборатории нормирования Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (г. Москва) при разработке нормативов экологически предельно допустимых выбросов (ЭПДВ) для Кольской горно-металлургической компании. Изучаются первичные сукцессии, происходящие на промышленных отвалах, где первыми поселенцами зачастую являются цианобактерии и водоросли. Составлен первый в мире кадастр почвенных водорослей железорудных отвалов [4].

В настоящее время функционирует научно-исследовательская лаборатория молекулярной систематики фототрофных микроорганизмов им. Л.С. Хайбуллиной, Коллекция водорослей и цианобактерий Башкортостана (Bashkortostan Collection of Algae and Cyanobacteria - BCAC), руководитель Л.А. Гайсина. Коллекция постоянно пополняется и включает более 700 штаммов наземных водорослей и цианобактерий из различных местообитаний по всему миру, включая пустыни юго-запада и леса Национального Парка Great Smoky Mountains (США), Антарктику, Камчатку и территории Южно-Уральского региона. Проводится молекулярно-генетическая идентификация выделенных в культуру видов. Было описано несколько новых для науки родов и видов, депонированных в данную коллекцию [20].

Развивается эколого-морфологическое направление в изучении ЦВЦ. Составлена экотоксикологическая карта, показывающая границы устойчивости морфологического статуса вида, географическое распространение и морфологическая изменчивость. А.И. Фазлутдиновой выявлены пределы устойчивости диатомовых водорослей к естественным и антропогенным экологическим факторам [9].

Внимание уделяется изучению биохимии и ультраструктуры цианобактерий и водорослей при воздействии рН, высоких температур и тяжелых металлов [8, 9]. Альгологи Башкортостана уделяют большое внимание и прикладным проблемам использования цианобактерий и водорослей: биомониторинг окружающей среды, сельское хозяйство, очистка сточных вод и др. (Н.В. Суханова, М.Ю. Шарипова, Л.М. Сафиуллина, Турьянова Р.Р. и др.) [2]. Изучаются возможности биотестирования наночастиц металлов с помощью цианобактерий и водорослей. Проводятся исследования по созданию биопрепаратов на цианобактериальной основе. Изучено содержание фитогормонов (индолилуксусной кислоты, цитокининов) в культуральной среде перспективных штаммов, выделены штаммы, обладающие ростстимулирующей активностью на сельскохозяйственные культуры [11]. Часть уфимских коллег работает в других городах России, продолжая альгологические исследования: во Владивостоке (Ш.Р. Абдуллин), Апатитах (Р.Р. Шалыгина), Бирске (Н.Н. Шмелев), Мелеузе (И.В. Рахматуллина) и т.д.

С 1883 по 2001 гг. альгологами Республики Башкортостан опубликовано около 790 работ [5], с 2002 по 2021 гг. более 1000 работ, охватывающих различные аспекты изучения цианобактерий и водорослей [2].

Альгологи уделяют большое внимание педагогическому процессу: написаны краткие определители водорослей, учебные пособия для студентов и аспирантов [5, 13].

Некоторые труды альгологов РБ, опубликованные в последние годы, приведены в списке литературы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абдуллин Ш.Р., Афанасьев Д.Ф., Миркин Б.М. 2017. Особенности классификации сообществ водорослей-макрофитов и цианобактериально-водорослевых ценозов с использованием флористических критериев // Журнал общей биологии. Т. 78. № 3: 69-78.

2. Абдуллин Ш.Р. Изучение цианобактерий и водорослей в Республике Башкортостан: библиографический указатель. Вып. 2 (2002–2017 гг.) [Текст]: монография / Ш.Р. Абдуллин, Д.И. Ахмедьянов. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – 160 с.

3. Дубовик, И.Е. Цианобактериально-водорослевые ценозы чернозема обыкновенного под фитомелиорантами / И.Е. Дубовик, Я.Т. Суюндуков, Р. Ф. Хасанова, Р.Р. Шалыгина // Почвоведение. – 2016. – № 4 – С.496 -504.
4. Кабиров, Р.Р. Роль почвенных водорослей в антропогенных экосистемах/ Р.Р. Кабиров // Успехи современного естествознания.– 2007.– № 6.– С. 12-15.
5. Краткий определитель цианопрокариот Республики Башкортостан [Текст]: монография / И. Е. Дубовик, М.Ю. Шарипова, Г.Ф. Габидуллина, Г.А. Гуламанова, Р. Р. Турьянова - Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. – 168 с.
6. Кузяхметов, Г.Г. Изучение водорослей в Башкортостане: Библиогр. указатель. Вып.1. (1883-2001 гг.) [Текст]: монография / Г.Г. Кузяхметов – Уфа: РИО БашГУ, 2002 - 104 с.
7. Кузяхметов, Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. [Текст]: монография / Г. Г. Кузяхметов - Уфа: РИО БашГУ, 2006 - 286 с.
8. Сафиуллина, Л.М. Сравнительный анализ микроскопических почвенных водорослей *Eustigmatos magnus* и *Vischeria helvetica* (Eustigmatophyta) / Л.М. Сафиуллина, К.Р. Муратова, М.Б. Закирова // Альгология. -2014. - 24 (3). – С. 270-273.
9. Фазлутдинова, А.И. Состав диатомовых водорослей в зоне влияния нефтепромысловых комплексов / А.И. Фазлутдинова, Н. В. Суханова // Экология. – 2014. - № 3. – С.197-203.
10. Флора и синтаксономия почвенных водорослей урбанизированных территорий [Текст]: монография / Л.С. Хайбуллина, Н.В. Суханова, Р.Р. Кабиров - Уфа: АН РБ. Гилем, 2011 - 216 с.
11. Шарипова, М.Ю. Биопрепараты на основе штаммов цианобактерий *Nostoc punctiforme* и *Roholtiella* sp. / М. Ю. Шарипова, Е. Ю. Егупова, И.Е. Дубовик, Л. Б. Высоцкая, Ш.Р. Абдуллин // Безопасность жизнедеятельности. - 2019. - № 11 (227). - С. 32-38.
12. Шарипова, М.Ю. Водоросли экотонных сообществ [Текст]: монография / М.Ю. Шарипова - Уфа: РИО БашГУ, 2006 - 182 с.
13. Шарипова, М.Ю. Современные методы альгологии. [Текст]: монография / М.Ю. Шарипова, И.Е. Дубовик, Уфа: РИЦ БашГУ- 2012.- 116 с.
14. Шелль, Ю.М. Материалы для ботанической географии Уфимской и Оренбургской губерний / Ю.М. Шелль // Труды Общества естествоиспытателей при Казанском университете [Текст]: монография: Казань, Казан. гос. ун-т, 1883.- Т.12.- Вып.1. - 24 с.
15. Шкундина, Ф.Б. Воздействие качества воды на количественные и качественные показатели развития фитопланктона верхнего течения реки Белой (Республика Башкортостан) / Ф. Б. Шкундина // Вода: химия и экология.- 2016.- № 4. - С. 3-9.
16. Dubovik, I.E. The effect of gully erosion on the diversity of algae in forest-steppe soils of the Cis-ural region / I.E. Dubovik // Eurasian Soil Science. 2004. Т. 37. No 4. P. 409-414.
17. Dubovik, I.E. Blue-green algae in soils of specially protected natural territories in the Cis-ural and Southern Ural regions / I.E. Dubovik, M.Yu. Sharipova, Z.R. Zakirova // Eurasian Soil Science. – 2007. – Т. 40.– № 2. – pp. 163-167.
18. Dubovik, I.E., Macroscopic algal growths and concomitant micromycetes /I. E. Dubovik, N.A. Kireeva, Z.R. Zakirova, I.P. Klimina // International Journal on Algae. 2008. Т. 10. No 1. P. 42-49.
19. Gainutdinov, I.A. Cyanobacteria and algae in some caves of the Bashkirskiy Ural Biosphere Reserve (Southern Urals, Bashkortostan Republic, Russia) / I. A. Gainutdinov, S.R. Abdullin, M.Y. Sharipova, I.E. Dubovik // Cave and Karst Science. – 2017. - Т. 44.- № 3.- pp. 119-126.
20. Gaysina, L.A..The first record of genus *Neocystis* from Kamchatka volcano soils, confirmed by genetic data /L. A. Gaysina, R. Z. Allaguvatova, M. Eliáš M. 2021. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "All-Russian Conference with

International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants". 2021.- p. 012009.

21. Gaysina, L.A. Biodiversity of terrestrial cyanobacteria of the South Ural region / L. A. Gaysina, M. Bohunická, V. Hazuková, J. R. Johansen // *Cryptogamie Algologie*. - 2018. - 39 (2) – pp. 1-32.

22. Sharipova, M.Yu. Algological assesment of oil pollution in ecotonic ecosystems / M.Yu. Sharipova, I.E. Dubovik, V.P. Putenikhin, D.I. Akhmedyanov, G.F. Gabidullina, G.A. Gulamanova, L.Z. Teltsova, R.R. Turyanova. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. -2020/ - C. 62-79.

REFERENCES

1. Abdullin SH.R., Afanas'ev D.F., Mirkin B.M. 2017. Osobennosti klassifikatsii soobshchestv vodoroslej-makrofitov i cianobakterial'no-vodoroslevykh cenozov s ispol'zovaniem floristicheskikh kriteriev // *ZHurnal obshchej biologii*. T. 78. № 3: 69-78.

2. Abdullin SH.R. Izuchenie cianobakterij i vodoroslej v Respublike Bashkortostan: bibliograficheskij ukazatel'. Vyp. 2 (2002–2017 gg.) [Tekst]: monografiya / SH.R. Abdullin, D.I. Ahmed'yanov. – Ufa: RIC BashGU, 2019. – 160 s.

3. Dubovik, I.E. Cianobakterial'no-vodoroslevye cenozy chernozema obyknovennogo pod fitomeliorantami / I.E. Dubovik, YA.T. Suyundukov, R. F. Hasanova, R.R. SHalygina // *Pochvovedenie*. – 2016. – № 4 – S.496 -504.

4. Kabirov, P.P. Rol' pochvennykh vodoroslej v antropogennykh ekosistemah/ R.R. Kabirov // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*.– 2007.– № 6.– S. 12-15.

5. Kratkij opredelitel' cianoprokariot Respubliki Bashkortostan [Tekst]: monografiya / I. E. Dubovik, M.YU. SHaripova, G.F. Gabidullina, G.A. Gulamanova, R. R. Tur'yanova - Ufa: RIC BashGU, 2020. – 168 c.

6. Kuzyahmetov, G.G. Izuchenie vodoroslej v Bashkortostane: Bibliogr. ukazatel'. Vyp.1. (1883-2001 gg.) [Tekst]: monografiya / G.G. Kuzyahmetov – Ufa: RIO BashGU, 2002 - 104 s.

7. Kuzyahmetov, G.G. Vodorosli zonal'nykh pochv stepi i lesostepi. [Tekst]: monografiya / G. G. Kuzyahmetov - Ufa: RIO BashGU, 2006 - 286 s.

8. Safiullina, L.M. Sravnitel'nyj analiz mikroskopicheskikh pochvennykh vodoroslej *Eustigmatos magnus* i *Vischeria helvetica* (Eustigmatophyta) / L.M. Safiullina, K.R. Muratova, M.B. Zakirova // *Al'gologiya*. -2014. - 24 (3). – S. 270-273.

9. Fazlutdinova, A.I. Sostav diatomovykh vodoroslej v zone vliyaniya neftepromyslovykh kompleksov / A.I. Fazlutdinova, N. V. Suhanova // *Ekologiya*. – 2014. - № 3. – S.197-203.

10. Flora i sintaksonomiya pochvennykh vodoroslej urbanizirovannykh territorij [Tekst]: monografiya / L.S. Hajbullina, N.V. Suhanova, R.R. Kabirov - Ufa: AN RB. Gilem, 2011 - 216 s.

11. SHaripova, M.YU. Biopreparaty na osnove shtammov cianobakterij *Nostoc punctiforme* i *Roholtiella* sp. / M. YU. SHaripova, E. YU. Egupova, I.E. Dubovik, L. B. Vysockaya, SH.R. Abdullin // *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. - 2019. - № 11 (227). - S. 32-38.

12. SHaripova, M.YU. Vodorosli ekotonnykh soobshchestv [Tekst]: monografiya / M.YU. SHaripova - Ufa: RIO BashGU, 2006 - 182 s.

13. SHaripova, M.YU. Sovremennye metody al'gologii. [Tekst]: monografiya / M.YU. SHaripova, I.E. Dubovik, Ufa: RIC BashGU- 2012.- 116 s.

14. SHell', YU.M. Materialy dlya botanicheskoy geografii Ufimskoj i Orenburgskoj gubernij / YU.M. SHell' // *Trudy Obshchestva estestvoispytatelej pri Kazanskom universitete* [Tekst]: monografiya: Kazan', Kazan. gos. un-t, 1883.- T.12.- Vyp.1. -24 s.

15. SHkundina, F.B. Vozdejstvie kachestva vody na kolichestvennyye i kachestvennyye pokazateli razvitiya fitoplanktona verhnego techeniya reki Beloj (Respublika Bashkortostan) / F. B.

SHkundina // Voda: himiya i ekologiya.- 2016.- № 4. - S. 3-9.

16. Dubovik, I.E. The effect of gully erosion on the diversity of algae in forest-steppe soils of the Cis-ural region / I.E. Dubovik // Eurasian Soil Science. 2004. T. 37. No 4. P. 409-414.

17. Dubovik, I.E. Blue-green algae in soils of specially protected natural territories in the Cis-ural and Southern Ural regions / I.E. Dubovik, M.Yu. Sharipova, Z.R. Zakirova // Eurasian Soil Science. – 2007. – T. 40.– № 2. – pp. 163-167.

18. Dubovik, I.E., Macroscopic algal growths and concomitant micromycetes /I. E. Dubovik, N.A. Kireeva, Z.R. Zakirova, I.P. Klimina // International Journal on Algae. 2008. T. 10. No 1. P. 42-49.

19. Gainutdinov, I.A. Cyanobacteria and algae in some caves of the Bashkirskiy Ural Biosphere Reserve (Southern Urals, Bashkortostan Republic, Russia) / I. A. Gainutdinov, S.R. Abdullin, M.Y. Sharipova, I.E. Dubovik // Cave and Karst Science. – 2017. - T. 44.- № 3.- pp. 119-126.

20. Gaysina, L.A..The first record of genus Neocystis from Kamchatka volcano soils, confirmed by genetic data /L. A. Gaysina, R. Z. Allaguvatova, M. Eliáš M. 2021. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants". 2021.- p. 012009.

21. Gaysina, L.A. Biodiversity of terrestrial cyanobacteria of the South Ural region / L. A. Gaysina, M. Bohunická, V. Hazuková, J. R. Johansen // Cryptogamie Algologie. - 2018. - 39 (2) – pp. 1-32.

22. Sharipova, M.Yu. Algological assesment of oil pollution in ecotonic ecosystems / M.Yu. Sharipova, I.E. Dubovik, V.P. Putenikhin, D.I. Akhmedyanov, G.F. Gabidullina, G.A. Gulamanova, L.Z. Teltsova, R.R Turyanova. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. -2020/ - S. 62-79.

Информация об авторах

И.Е. Дубовик – доктор биологических наук, профессор;

М.Ю. Шарипова – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

I.E Dubovik – Doctor of Science (Biology), Professor;

M.Y. Sharipova – Doctor of Science (Biology), Professor.

Ирина Евгеньевна Дубовик¹, Марина Юрьевна Шарипова², Виктория Александровна Гафарова³

^{1,2} ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа, Россия,

³ ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹ dubovikie@mail.ru <http://orcid.org/0000-0002-0832-6983>

² sharipovamy@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-0907-5984>

³ Gafarova.vika@bk.ru <http://orcid.org/0000-0002-9793-2394>

РОЛЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССАХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. Изучена биокоррозия и ее влияние на физико-механические свойства стали в разных средах под влиянием магнитного поля. Зафиксированы изменения свойств металла под влиянием корродирующих факторов и выявлен состав цианобактериальных пленок на образцах трубопроводных сталей при разных условиях. При намагничивании металла происходит угнетение цианобактерий и сопутствующих водорослей на поверхности его поверхности. Установлено отсутствие различия в проявлении биокоррозии по всему изученному почвенному разрезу при одинаковой временной экспозиции, в том числе и на образцах в условиях намагничивания.

Ключевые слова: биокоррозия, цианобактерии, водоросли, магнитное поле, сталь, твердость

Irina E. Dubovik¹, Marina Ju. Sharipova¹, Victoria A. Gafarova²

^{1,2} Bashkir State University, Ufa, Russia

³ Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹ dubovikie@mail.ru <http://orcid.org/0000-0002-0832-6983>

² sharipovamy@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-0907-5984>

³ Gafarova.vika@bk.ru <http://orcid.org/0000-0002-9793-2394>

ROLE OF CYANOBACTERIA IN CORROSION PROCESSES OF PIPELINE STEELS

Abstract. Biocorrosion and its influence on the physical and mechanical properties of steel in different media under the influence of a magnetic field have been studied. Changes in the properties of the metal under the influence of corrosive factors were recorded and the composition of cyanobacterial films on samples of pipeline steels under different conditions was revealed. The inhibition of cyanobacteria and related algae on the surface of its surface occurs when the metal is magnetized. It has been established that there is no difference in the manifestation of biocorrosion throughout the studied soil section with the same time exposure, including on samples under magnetization conditions.

Keywords: biocorrosion, cyanobacteria, algae, magnetic field, steel, hardness

Почвенная коррозия металла на сегодняшний день является одной из самых распространенных причин аварий подземных трубопроводов. В комплексной агрессивности по отношению к подземным сооружениям существенен вклад биокоррозионной активности микроорганизмов грунта. В Российской Федерации потери нефтяной промышленности по причине биокоррозии составляют до 2 % стоимости металлофонда. [1]. Металлические изделия являются объектами биодеструкции в 12,6 % случаев [7].

Биокоррозия вызывается жизнедеятельностью различных микроорганизмов (водорослей, бактерий, дрожжей, грибов), которые используют металл как питательную среду или выделяют продукты, разрушающе действующие на металл. Микроорганизмы, находящиеся в водной среде и грунте, в состоянии спровоцировать серьезные коррозионные разрушения [4,5,7].

Действие микроорганизмов на металлы может происходить различно. Прежде всего, коррозию металлов могут вызывать агрессивные метаболиты микроорганизмов — минеральные и органические кислоты и основания, ферменты и другие. Они создают коррозионно-активную среду, в которой в присутствии воды протекает коррозия по обычным законам электрохимии. Колонии микроорганизмов могут создавать на поверхности металлов наросты и пленки мицелия или слизи, под которыми может развиваться язвенная (питтинговая) коррозия в результате разности электрических потенциалов на различных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов самими микроорганизмами. Локальная коррозия при ничтожных потерях металла может вызывать катастрофическое падение прочности и тяжелее поддается контролю [8].

Наиболее подвержены биологической коррозии трубопроводы, резервуары, сваи и иные подземные трубопроводы и конструкции. Актуальными являются исследования механизмов, описывающих формирование биокоррозии металлов, используемых в нефтегазовой отрасли. Почвенные цианобактерии и водоросли, являясь составной и активной частью почвы, также не могут не оказывать влияния на коррозию металлов.

Эти организмы, в большинстве характеризующиеся микроскопическими размерами, дают макроскопические разрастания, хорошо заметные невооруженным глазом. Часто именно цианобактерии выступают в роли детерминантов консорциев [9], состоящих их сопутствующих водорослей, микромицетов и простейших.

В связи с этим, нами изучено влияние цианобактериально-водорослевых ценозов на коррозионные процессы стали 09Г2С, которая используется для изготовления магистральных трубопроводов в нефтегазовой промышленности.

Первым этапом явилось изучение изменения массы образцов стали 09Г2С с различным периодом выдержки в водной среде с цианобактериями. На втором этапе изучали биокоррозию в почве на различной глубине залегания методом твердомерии по наружной поверхности испытываемых образцов.

Для проведения эксперимента использовали плоские образцы из стали 09Г2С с рабочей длиной равной 150 мм, которые помещались в среду с дистиллированной водой и цианобактериями, и инкубировались в течение 7 и 14 суток. Цианобактерии представляли собой пленки, видимые невооруженным глазом. Состав пленок цианобактерий: *Nostoc linckia* (доминант), *Phormidium variable*, *Leptolyngbya foveolarum*. Контроль - дистиллированная вода.

После контакта с микроорганизмами по истечении срока выдержки в жидкой среде образцы снова замерялись (степень коррозии оценивалась по изменению массы образцов), и сравнивали полученные значения (табл.1).

Также проводили эксперименты по изучению влияния биокоррозии на механические характеристики трубопровода, на сталь методом твердомерии по наружной поверхности испытываемых образцов после выдержки в почве. В качестве объекта исследований использовался фрагмент бесшовной горячедеформированной трубы (ГОСТ 32528-2013) из стали 09Г2С в состоянии поставки диаметром 108 мм и толщиной стенки 4 мм. При изготовлении образцов трубу нарезали на кольца длиной 10 мм и маркировали, а чтобы исключить попадание почвы на внутреннюю поверхность образцы с двух сторон герметично закрывались заглушками.

Поскольку при дефектоскопии труб происходит намагничивание, часть образцов труб подвергали воздействию магнитного поля, для чего проводилась установка прямоугольных магнитных стержней по периметру кольца изнутри. Для исследований были взяты неодимовые магниты. Класс магнита 70*5*5 – N 35, остаточная магнитная индукция – 1170-

1220 мТ, коэрцитивная сила – 955 А/м, магнитная энергия -26-287 кДж/м³, сила на отрыв - 7,04 кг.

Учитывая возможную неравномерность распределения микроорганизмов по глубине почвенного покрова, образцы были установлены на различной глубине 150, 300 и 600 мм в почве, и выдерживались в течение 30, 60 и 90 суток. Почва – серая лесная. После истечения заданного промежутка времени образцы извлекались из почвы для дальнейших исследований. Твердость металла определяли по окружности трубы с помощью твердомера Роквелла R574 по шкале HRB с шагом 14 мм.

Для изучения цианобактерий и водорослей, контактирующих с металлом, делали соскоб прокорродировавшего металла со стенок трубы, просматривали под микроскопом и проводили посев на агаризованную среду Громова № 6 [6]. Определяли их систематическую принадлежность обнаруженных цианобактерий и водорослей и проводили анализ экобиоморф [6].

Полученные данные по изменению массы образцов стали показывают уменьшение данного параметра образцов во всех вариантах эксперимента. Максимальные потери стали наблюдались при выдерживании образцов в среде с цианобактериями в течение 14 суток, что свидетельствует об активном коррозионном процессе и влиянии на него прежде всего длительности выдержки в средах с микроорганизмами, вызывающими коррозию (табл1).

Таблица 1.

Изменения массы образцов стали

Длительность выдержки образцов в среде, сут.	Варианты	Среднее значение начальной массы образцов, г	Среднее значение массы образцов после выдержки в среде с цианобактериями	Уменьшение массы
7	Жидкая среда	150,34	149,41	0,93±0,002
7	суспензия цианобактерий	159,67	158,84	0,97±0,002
14	суспензия цианобактерий	153,39	152,40	0,99±0,002

Проведенный эксперимент по изучению влияния биокоррозии на механические характеристики трубопровода на сталь методом твердометрии по наружной поверхности испытуемых образцов после выдержки в почве показал, что все образцы стали, помещенные в почвенную среду на разный срок, в большей или меньшей степени, подверглись коррозии. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что твердость фрагментов труб в состоянии поставки и образцов, выдержанных на различной глубине почвы в течение 30 суток, сходны по своим характеристикам (табл. 2). Тогда как, у образцов, выдержанных в течение 60 суток, намечается тенденция к снижению характеристик твердости (табл.2). Образцы, выдержанные в почве в течение 90 суток по полученным значениям твердости уступают исходному образцу, не подверженному коррозии. Таким образом, показано, что изученные глубины залегания образцов не влияет на твердость металла (табл.2). Характеристика твердости металла зависит от времени выдержки в почве, что связано с более длительным контактом поверхности металла с почвенной средой. Достоверных различий твердости образцов по Роквеллу в зависимости от глубины залегания не выявлено.

Таблица 2.

Твердость образцов, не подверженных воздействию магнитного поля

Номер образца	Глубина залегания образцов в почве, см	Длительность выдержки в почве, сут	Среднее значение твердости по Роквеллу, HRB
Исходный	-	-	74,16
1	Поверхность	30	68,77
2	15	30	67,08
3	30	30	68,83
4	60	30	68,22
5	Поверхность	60	66,94
6	15	60	66,21
7	30	60	66,57
8	60	60	65,39
9	Поверхность	90	65,26
10	15	90	61,67
11	30	90	62,29
12	60	90	62,35

Параллельно были проведены измерения твердости металла под влиянием магнитного поля после выдержки образцов стали в почве в течение 30, 60, 90 суток на различной глубине залегания. Средние значения твердости образцов стали под воздействием магнитного поля приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Твердость образцов, подверженных воздействию магнитного поля

Номер образца	Глубина залегания образцов в почве, см	Длительность выдержки в почве, сут	Среднее значение твердости по Роквеллу, HRB
Исходный	-	-	74,37
1	Поверхность	30	70,98
2	15	30	71,47
3	30	30	72,74

4	60	30	72,13
5	Поверхность	60	68,79
6	15	60	68,98
7	30	60	68,17
8	60	60	67,40
9	Поверхность	90	65,49
10	15	90	65,95
11	30	90	63,42
12	60	90	62,63

Сравнивая средние значения твердости после намагничивания образцов (табл. 3) следует отметить, что глубина залегания и в этом случае не влияет на твердость металла. Характеристика твердости зависит от длительности выдержки в почве, что связано с более длительным контактом поверхности металла со средой с микроорганизмами.

Также отслеживается незначительное снижение твердости образцов без влияния магнитного поля по сравнению с образцами, на которых был установлен постоянный магнит. Особенно это проявлялось на небольших глубинах залегания образцов в почве, где обилие цианобактерий выше.

Цианобактерии и водоросли выявлялись по всему изученному почвенному разрезу. Всего обнаружено 27 видовых и внутривидовых таксонов фототрофных микроорганизмов, из них к отряду Cyanobacteria (Cyanoprocarota = Cyanophyta) относились 7 видов, Chlorophyta - 11, Xanthophyta и Bacillariophyta 5 и 4 вида соответственно (табл. 4). Спектр экобиоморф $Ch_8V_5H_4C_4CF_3P_2X_1amph_1$. Преобладают представители Ch – одноклеточные формы, виды различных систематических групп, хорошо переносящие различные неблагоприятные условия, широко распространенные в различных почвенных экосистемах.

Таблица 4

Состав цианобактерий и водорослей на поверхности металла

Виды цианобактерий и водорослей	Эко-био-морфы	1*	1M**	2	2M	3	3M	4	4M
		<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli	C-	3***	1	2		2	
<i>Phormidium variabile</i> (Wille) Anagnostidis & Komárek	amph	2	2	1		1			
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	P	3	3	2	3	1	1	2	1
<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen	P	3	3	2					
<i>Nostoc microscopicum</i> Carmichael ex Bornet & Flahault	CF	2				2			
<i>Nostoc linckia</i> Bornet ex Bornet &	CF	3							

Flahault									
<i>Stigonema ocellatum</i> Thuret ex Bornet & Flahault	CF	2							
<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kützing) Kützing	H		2	2	1		1		
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	Ch	2	2						
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Meneghini	Ch	3	3	2	3	2		2	2
<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korshikov	C	3	3	1		2	1		
<i>Chlamydomonas intermedia</i> Chodat	C	2						3	
<i>Chlamydomonas globosa</i> J.W.Snow	C		3			3	1		
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	Ch		2	2	1	1			3
<i>Lobosphaera incisa</i> (Reisigl) Karsten & al.	Ch			1	2				
<i>Eubrownia aggregata</i> (R.M.Brown & Bold) Shin Watanabe & L.A.Lewis	X	2		2		2		3	
<i>Dictyochloris fragrans</i> Vischer	Ch	1		3			2	1	
<i>Dictyococcus varians</i> Gerneck	Ch	2							
<i>Botrydiopsis eriensis</i> J.W.Snow	Ch	2				2			2
<i>Gloeobotrys chlorinus</i> Pascher	Ch							1	
<i>Chloropedia plana</i> Pascher	H	1							
<i>Tribonema monochloron</i> Pascher & Geitler	H	2	1					1	
<i>Xanthonema debile</i> (Vischer) P.C.Silva	H	2		2	2				
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G.Mann	B	3		2	3				
<i>Navicula oblonga</i> (Kützing) Kützing	B	2			2	2		3	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	B	2	1	3	1				
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	B	3	3	1	1	1			
Всего		22	13	14	10	12	5	9	5

*Примечание 1- поверхность, 2- глубина 15 см, 3- глубина 30 см, 4- глубина 60 см,

**Тоже с магнитом

***Обилие

Показано, что с увеличением глубины почвы видовой состав цианобактерий и водорослей несколько обедняется. На большую глубину проникают виды рода *Chlamydomonas*, *Gloeobotrys chlorinus*, *Chlorococcum infusionum*, *Leptolyngbya foveolarum*. В то же время необходимо отметить высокое обилие многих видов в достаточно глубоких слоях почвы (табл.4). Этим, по-видимому, можно объяснить отсутствие различия в проявлении биокоррозии по всему изученному почвенному разрезу при одинаковой временной экспозиции.

При прямом микроскопировании коррозионного материала обнаруживались цианобактерии *Nostoc linckia*, *Leptolyngbya foveolarum* и т.д., которые, разрастаясь, и образуя пленки в почве, создают условия для поселения в них других микроорганизмов. Таким образом, доказано участие цианобактерий и водорослей в коррозионных процессах стали.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Герасименко, А.А. Защита машин от биоповреждений / А. А. Герасименко. - М. : Машиностроение, 1984. - 113 с.
2. Дедов С.С., Емельянов В.В., Шатило С.П. О внутренней коррозии трубопроводов – причинах, механизме и способах защиты // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: матер. междунаро. науч.- практ. конф.

обучающихся, аспирантов и ученых. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. Т. 2. С. 130-140. 2.

3. Колесников, Н.Н. Биологическая коррозия металлических конструкций и защита от нее / Н. Н. Колесникова, Ю. К. Луканина, А. В. Хватов, А. Н. Лихачев, А. А. Попов, Г. Е. Заиков, Х. С. Абзальдинов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 1. – 170-174 с.

4. Нанзатоол, Ю.В. Биокоррозия объектов промышленных предприятий и методы защиты от нее / Ю.В. Нанзатоол, Н.В. Романькова, М.В. Трошина, Е.Г. Цублова Е.Г. Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4 (12). С. 79-87.

5. Шадунц, К.Ш. Микробиологическое воздействие на подземные трубопроводы в подтопляемых лёссовых массивах/ К.Ш. Шадунц, Н.В. Воляник, Л.В. Передельский // Научный журнал КубГАУ – 2010. – №55(01)

6. Шарипова, М.Ю. Современные методы альгологии. [Текст]: монография / М.Ю. Шарипова, И.Е. Дубовик, Уфа: РИЦ БашГУ.2012.- 116 с.

7. Шаханова, С.С., Аманжолов, Ж.К. Анализ причин наружной коррозии нефтепроводов // Труды университета. 2015. № 2 (59). С. 152-154

8. Ягафарова, Г.Г.Предотвращение процессов биогенной коррозии магистральных трубопроводов /Г.Г. Ягафарова, Л.З. Рольник, Л.Р. Акчурина, А.Х. Сафаров, Л.А. Насырова Л.А. //Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов, 2020. № 5 (127) . С. 110-120

9. Dubovik, I.E. Macroscopical algal growths and concomitant micromycetes / I.E. Dubovik, N.A. Kireeva, Z.R.Zakirova, I.P. Klimina // International Journal on Algae. 2008. Т. 10. № 1. С. 42-49.

REFERENCES

1. Gerasimenko, A.A. Zashchita mashin ot biopovrezhdenij / A. A. Gerasimenko. - M. : Mashinostroenie, 1984. - 113 s.

2. Dedov S.S., Emel'yanov V.V., SHatilo S.P. O vnutrennej korrozii truboprovodov – prichinah, mekhanizme i sposobah zashchity // Opyt, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa: mater. mezhdunarod. nauch.- prakt. konf. obuchayushchihsya, aspirantov i uchenyh. Tyumen': Tyumenskij industrial'nyj universitet, 2016. Т. 2. S. 130-140. 2.

3. Kolesnikov, N.N. Biologicheskaya korroziya metallicheskih konstrukcij i zashchita ot nee / N. N. Kolesnikova, YU. K. Lukanina, A. V. Hvatov, A. N. Lihachev, A. A. Popov, G. E. Zaikov, H. S. Abzal'dinov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2013. – № 1. – 170-174 s.

4. Nanzatool, YU.V. Biokorroziya ob"ektov promyshlennyh predpriyatij i metody zashchity ot nee / YU.V. Nanzatool, N.V. Roman'kova, M.V. Troshina, E.G. Cublova E.G. Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii. 2015. № 4 (12). S. 79-87.

5. SHadunc, K.SH. Mikrobiologicheskoe vozdejstvie na podzemnyye truboprovody v podtoplyaemyh lyossovyyh massivah/ K.SH. SHadunc, N.V. Volyanik, L.V. Peredel'skij // Nauchnyj zhurnal KubGAU – 2010. – №55(01)

6. SHaripova, M.YU. Sovremennyye metody al'gologii. [Tekst]: monografiya / M.YU. SHaripova, I.E. Dubovik, Ufa: RIC BashGU.2012.- 116 s.

7. SHahanova, S.S., Amanzholov, ZH.K. Analiz prichin naruzhnoj korrozii nefteprovodov // Trudy universiteta. 2015. № 2 (59). S. 152-154

8. YAgafarova, G.G.Predotvrashchenie processov biogennoj korrozii magistral'nyh truboprovodov /G.G. YAgafarova, L.Z. Rol'nik, L.R. Akchurina, A.H. Safarov, L.A. Nasyrova L.A. //Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov, 2020. № 5 (127) . S. 110-120

9. Dubovik, I.E. Macroscopical algal growths and concomitant micromycetes / I.E. Dubovik, N.A. Kireeva, Z.R.Zakirova, I.P. Klimina // International Journal on Algae. 2008. Т. 10. № 1. S. 42-49.

Информация об авторах

И.Е. Дубовик – доктор биологических наук, профессор;

М.Ю. Шарипова – доктор биологических наук, профессор;

В.А. Гафарова – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

I.E. Dubovik – doctor of Science (Biology), Professor;

M.Y. Sharipova – doctor of Science (Biology), Professor.

V.A.Gafarova – cand. Sc. (Technology), docent.

Татьяна Владимировна Еремкина

Уральский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Екатеринбург, Россия, tver60@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7133-0520>

ЦИАНОБАКТЕРИИ ВОДОЕМОВ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье впервые представлены результаты собственных исследований фитопланктона 8 озер и 2 рек Курганской области за многолетний период (2001-2021 гг.). Обобщены литературные и фондовые данные о распространении цианобактерий в водных объектах Курганской области с 1929 по 2021 гг. Общий таксономический список включает 151 вид, разновидность и форму цианобактерий, принадлежащих 1 классу, 7 порядкам, 25 семействам, 54 родам. По типу местообитания преобладают планктонные и планктонно-бентосные формы, среди таксонов с известным географическим распределением 84,7 % - космополиты. Виды-индикаторы органического загрязнения среды составили 84,5 %.

Ключевые слова: цианобактерии, водные объекты, Курганская область, таксономическое разнообразие

CYANOBACTERIA OF RESERVOIRS OF THE KURGAN REGION

Tatiana V. Eremkina

Ural branch of "VNIRO" ("UralNIRO"), Ekaterinburg, Russia,
tver60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7133-0520>

Abstract. The article presents for the first time the results of own studies of phytoplankton of 8 lakes and 2 rivers of the Kurgan region for a long-term period (2001-2021). The literature and stock data on the spread of cyanobacteria in the water bodies of the Kurgan region from 1929 to 2021 are summarized. The general taxonomic list includes 151 species, varieties and forms of cyanobacteria belonging to 1 class, 7 orders, 25 families and 54 genera. According to the type of habitat, planktonic and planktonic-benthic forms predominate, among taxa with a known geographical distribution, 84.7 % are cosmopolitan. Types-indicators of organic pollution of the environment amounted to 84.5 %.

Keywords: cyanobacteria, water bodies, Kurgan region, taxonomic diversity

Первые сведения о видовом составе фитопланктона и фитобентоса из 42 озер Курганской области получены Воронихиным Н. Н. в 1929 г. [1]. Опубликованный им список включал 60 таксонов цианобактерий рангом ниже рода. В сводном списке водорослей Южного Зауралья, встречающихся в водоемах Курганской области, Науменко Н. И. с соавт. [2] приводит перечень из 73 таксонов цианобактерий с учетом данных Н. Н. Воронихина. Санниковой О. Ф. [3] в 10 озерах северной лесостепи Курганской области выявлено 116 таксонов цианобактерий, однако полного списка для обследованных водоемов не представлено, приведен лишь список из 27 таксонов, впервые выявленных для Западной Сибири.

Цель настоящей работы – систематизация данных о видовом составе цианобактерий как важной составляющей альгофлоры водоемов Курганской области.

Материалом для нашей работы послужили сборы фитопланктона в вегетационный период 2001 – 2021 гг. на рыбохозяйственных водоемах Курганской области на стационарных станциях наблюдений (рисунок), литературные и архивные данные. Интегральные пробы фитопланктона отбирали на глубину фотического слоя, фиксировали 40%-ным раствором формалина и обрабатывали в лаборатории в соответствии с общепринятыми методами [4]. Для определения видового состава использовался световой

микроскоп «Микмед-6». Численность водорослей определяли в камере Нажотта объемом 0,01 см³, биомассу – счетно-объемным методом [4; 5]. За основу классификации при оценке таксономического состава сообщества принята система, используемая в альгологической базе данных Algaebase [6]. Для эколого-географической характеристики водорослей использовали данные Бариновой С. С. с соавт. [7].

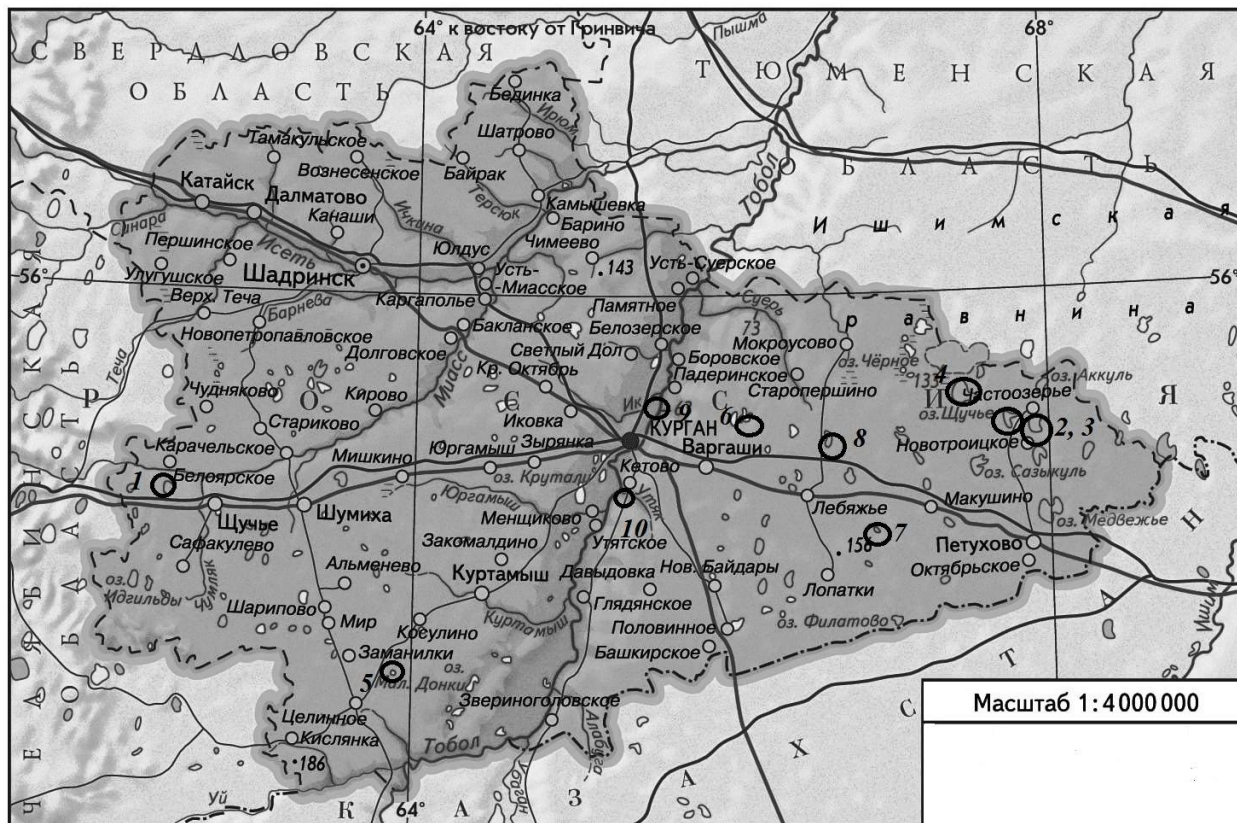


Рис. 1 – Карта-схема расположения исследуемых водных объектов:

1 - Оз. Алакуль; 2, 3 – оз. Большое и Малое Бутырино; 4 – оз. Щучье; 5 – оз. Большие Донки; 6 – оз. Заложное; 7 – оз. Найденово; 8 – оз. Суерское; 9 – р. Тобол; 10 – р. Утык

Территория Курганской области расположена между 54°10' и 56°46' с.ш., 62°02' и 68°39' в.д. Протяженность с севера на юг составляет около 290 км, с запада на восток – около 430 км. Географическое положение определяет ее климат как континентальный умеренного пояса. Речная сеть входит в Обь-Иртышскую систему и принадлежит бассейну Карского моря.

Гидрография области представляет собой две контрастные зоны. Первая представлена северо-западными, западными и центральными районами, расположенными в бассейнах рек Тобол, Исеть и Миасс и дренирующимися развитой речной сетью. Здесь же сосредоточены основные запасы подземных вод. Вторая зона включает в себя очень маловодные южные и юго-восточные районы, примыкающие к Казахстану [8]. На территории Курганской области расположено 2878 озер рыбохозяйственного значения, 95 рек протяженностью 3,9 тыс. км и 28 водохранилищ площадью 2,6 тыс. га [9].

Исследуемые озера – солоноватые, мелководные, эвтрофные, периодически заморные водоемы карасевого типа. Река Тобол исследовалась в среднем течении от д. Кошкино до д. Белый Яр. Этот участок водотока характеризуется повышенной минерализацией (до 658 мг/дм³), неустойчивым газовым режимом, высокой цветностью (до 112 градусов цветности) и значительным содержанием биогенных элементов (NH₄⁺ - до 3,80 мг/дм³, NO₂ - до 0,18

мг/дм³, NO₃⁻ - до 10,4 мг/дм³, PO₄³⁻ - до 1,40 мг/дм³). Река Утяк – правый приток р. Тобол - исследовалась на участке впадения в р. Тобол.

К настоящему времени сводный список цианобактерий водоемов Курганской области с учетом современных номенклатурных преобразований насчитывает 151 вид, разновидности и формы, принадлежащих 1 классу, 7 порядкам, 25 семействам, 54 родам, что сопоставимо с флорой цианобактерий водоемов Свердловской (189 таксонов) и Челябинской области (185 таксонов) [10]. Нами в исследованных водных объектах выявлен 81 таксон (табл. 1), что составляет 53,6 % от сводного списка известных нам цианобактерий, идентифицированных в водоемах Курганской области. Из них 53 таксона на территории Курганской области обнаружены впервые.

Таблица 1.

Таксономический состав цианобактерий в исследуемых водоемах Курганской области

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Anabaena</i> Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault sp.								*		
<i>Anabaena augstumnalis</i> f. <i>incrassata</i> (Nygaard) Elenkin		*								
<i>Anabaena bolochonzewii</i> C.Meyer 1926 (= <i>Anabaena spiroides</i> f. <i>meyeriana</i> (Meyer) Elenkin 1938)								*		
<i>Anabaena circinalis</i> var. <i>macrospora</i> (Wittrock) Forti 1907 (= <i>Anabaena hassallii</i> f. <i>macrospora</i> (Wittrock) Elenkin)		*	*							
<i>Anabaena flos-aquae</i> f. <i>jacutica</i> (Kissel.) Elenk.				*				*		
<i>Anabaena oscillarioides</i> Bory ex Bornet & Flahault 1886	*									
<i>Anabaena sphaerica</i> Bornet & Flahault 1886		*								
<i>Anabaena sphaerica</i> f. <i>conoidea</i> Elenkin 1938		*								
<i>Anabaena spiroides</i> f. <i>contorta</i> (Kleb.) Elenkin				*						
<i>Anabaena spiroides</i> f. <i>woronichiniana</i> Elenkin 1938						*				
<i>Anabaenopsis arnoldii</i> Aptekar 1926			*							
<i>Anabaenopsis knipowitschii</i> (Usachev) Komárek 2005 (= <i>Anabaena knipowitschii</i> Usachev 1927)		*		*						
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R.Johansen & J.Komárek 2017 (= <i>Oscillatoria amphibia</i> C.Agardh ex Gomont 1892)			*					*	*	*
<i>Anathece clathrata</i> (W.West & G.S.West) Komárek, Kastovsky & Jezberová 2011 (= <i>Aphanothece clathrata</i> West & G.S.West 1906)	*	*	*	*	*				*	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet et Flahault 1888	*	*	*	*	*	*		*	*	*
<i>Aphanizomenon gracile</i> Lemmermann 1907 (= <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> f. <i>gracile</i> (Lemm.) Elenk.; <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> f. <i>klebanii</i> Elenk.)		*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West 1912 (= <i>Microcystis pulvereae</i> f. <i>delicatissima</i> (West & G.S.West) Elenkin 1938)	*	*	*	*		*		*	*	
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst 1865 (= <i>Microcystis grevillei</i> (Berkeley) Elenkin 1938)				*						

<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) Cronberg et Komarek 1994 (=Microcystis pulverea f. holsatica (Lemmermann) Elenkin)		*	*	*						
<i>Aphanocapsa kovacekii</i> R.N.Beljakova 2004 (=Microcystis pulverea f. pulchra (Lemmerm.) Elenkin 1938)					*					
<i>Aphanocapsa planctonica</i> (G. M. Smith) Komarek et Anagnostidis 1995 (=Microcystis pulverea f. planctonica (G. M. Smith) Elenkin 1938)				*	*				*	
<i>Aphanothece elabens</i> (Brébisson ex Meneghini) Elenkin 1938	*			*				*		
<i>Aphanothece salina</i> Elenkin & A.N.Danilov 1915		*								
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A.Braun in Rabenhorst 1863								*		
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann 1904 (= Gloeocapsa minima (Keissler) Hollerbach in Elenkin 1938; Gloeocapsa minima f. smithii Hollerbach, Kosinskaja & Poljanskij 1953)	*	*	*	*	*			*	*	
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli 1849 (=Gloeocapsa minuta (Kützing) Hollerbach in Elenkin 1938)	*	*	*	*	*	*		*	*	
<i>Coelomoron pusillum</i> (Van Goor) Komarek 1988 (=Gomphosphaeria pusilla (Van Goor) Komárek 1958)								*		
<i>Coelosphaerium dubium</i> Grunov in Rabenhorst 1865			*	*						
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli 1849		*	*	*	*	*				
<i>Cuspidothrix ussaczevii</i> (Proshkina-Lavrenko) P.Rajaniem, J.Komárek, R.Willame, P.Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen 2005 (=Aphanizomenon elenkinii Kisselev 1951)		*								
<i>Cyanarcus hamiformis</i> Pascher 1914	*									
<i>Cyanodictyon planctonicum</i> B.A.Mayer 1994	*									
<i>Cyanodictyon reticulatum</i> (Lemmermann) Geitler 1925	*	*						*		
<i>Dolichospermum circinale</i> (Rabenhorst ex Bornet et Flahault) Wacklin, Hoffmann et Komárek 2009 (=Anabaena hassallii Wittrock ex Lemmermann 1907)			*							
<i>Dolichospermum flos-aquae</i> ([Lyngbye] Brébisson ex Bornet et Flahault) Wacklin, Hoffmann et Komárek 2009 (=Anabaena flos-aquae (Lyngbye) Brebisson ex Bornet et Flahault 1888; Anabaena contorta Bachmann 1921)		*	*	*	*					
<i>Dolichospermum lemmermannii</i> (Richter in Lemmermann) Wacklin, Hoffmann et Komárek 2009 (=Anabaena lemmermannii Richter in Lemmermann 1903)						*				
<i>Dolichospermum perturbatum</i> (Hill) Wacklin, Hoffmann et Komárek 2009 (=Anabaena flos-aquae f. aptekariana Elenkin 1938; Anabaena perturbata Hill 1976)				*						

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Dolichospermum scheremetieviae</i> (Elenkin) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009 (=Anabaena scheremetievi Elenkin 1909 f. scheremetievi)		*		*						
<i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebahn) Wacklin, Hoffmann et Komárek 2009 (=Anabaena spiroides Klebahn 1895)	*	*		*	*			*		

<i>Gloeocapsa haematodes</i> (Kützing) Kützing 1849					*					
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli 1849								*		
<i>Jaaginema minimum</i> (Gicklhorn) Anagnostidis & Komárek 1988 (= <i>Oscillatoria minima</i> Gicklhorn 1921)				*						
<i>Johanseninema constrictum</i> (Szafer) Hasler, Dvorák & Poulícková 2014 (= <i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler 1925)	*	*	*		*				*	
<i>Leptolyngbya foveolaria</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988 (= <i>Phormidium foveolarum</i> Gomont 1892)			*		*					
<i>Leptolyngbya tenuis</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988 (= <i>Phormidium tenue</i> Gomont 1892)		*	*						*	
<i>Limnococcus limneticus</i> (Lemmermann) Komárková, Jezberová, O.Komárek & Zapomelová 2010 (= <i>Gloeocapsa limnetica</i> (Lemmermann) Hollerbach in Elenkin 1938)	*				*				*	
<i>Limnothrix planctonica</i> (Wołoszynska) Meffert 1988 (= <i>Oscillatoria planctonica</i> Wołoszynska 1911)			*	*	*			*		
<i>Lyngbya lagerheimii</i> f. <i>minor</i> Elenkin 1949	*									
<i>Merismopedia elegans</i> A. Braun in Kützing 1849	*				*					
<i>Merismopedia minima</i> G.Beck in G.Beck & Zahlbruckner 1897	*	*							*	
<i>Merismopedia minutissima</i> Joosten 2006		*	*	*						
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen 1839	*	*		*	*			*		
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann 1898	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Microcystis flosaquae</i> (Wittrock) Kirchner 1898 (= <i>Microcystis aeruginosa</i> f. <i>flos-aquae</i> (Wittrock) Elenkin 1938)	*	*	*	*			*			
<i>Microcystis ichthyoblabe</i> Kützing 1843	*			*				*		
<i>Microcystis prasina</i> (Wittrock) Lemmermann 1904 (= <i>Microcystis pulvereae</i> f. <i>prasina</i> (Wittrock) Hollerb.)									*	
<i>Microcystis pulvereae</i> (Wood) Forti emend Elenkin 1938	*	*		*	*	*	*	*	*	
<i>Microcystis pulvereae</i> f. <i>minor</i> (Lemmermann) Hollerbach		*								
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komarek) Komarek in Kondrateva 1968			*	*	*				*	
<i>Nodosilinea bijugata</i> (Kongisser) Perkerson & Kováčik in Perkerson et al. 2011 (= <i>Phormidium bijugatum</i> Kongisser 1925)									*	
<i>Nodularia harveyana</i> Thuret ex Bornet & Flahault 1886								*	*	
<i>Nodularia spumigena</i> var. <i>litorea</i> Bornet & Flahault 1886		*								
<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont 1892					*					
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont 1892	*	*		*					*	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Oscillatoria tenuis</i> f. <i>uralensis</i> (Woronichin) Elenkin 1949		*			*					
<i>Phormidesmis molle</i> (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek 2009 (= <i>Phormidium molle</i> Gomont 1892)										*
<i>Planktolyngbya contorta</i> (Lemmermann) Anagnostidis et Komarek 1988 (= <i>Lyngbya contorta</i> Lemmermann)	*	*						*		

1898)										
<i>Planktolynghya limnetica</i> (Lemmermann) Komarkova-Legnerova et Cronberg 1992 (= <i>Lyngbya limnetica</i> Lemmermann 1898)	*	*	*	*		*	*	*		*
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988 (= <i>Oscillatoria agardhii</i> Gomont 1892)	*	*	*	*	*			*	*	
<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann et Huber-Pestalozzi) Schwabe 1964 (= <i>Phormidium mucicola</i> Naumann et Huber-Pestalozzi (in Huber-Pestalozzi & Naumann) 1929)		*		*	*					
<i>Rhabdogloea linearis</i> (Geitler) Komárek 1983 (= <i>Dactylococcopsis linearis</i> Geitler 1935)								*		
<i>Rhabdogloea smithii</i> (Chodat & F.Chodat) Komárek 1983 (= <i>Dactylococcopsis smithii</i> Chodat & F.Chodat 1925)	*									
<i>Romeria leopoliensis</i> (Raciborski) Koczwara in Geitler 1932				*						
<i>Schizothrix lacustris</i> A. Braun ex Gomont 1892		*			*			*		
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komarek et Hindak 1988 (= <i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat 1898)	*	*		*	*	*		*	*	
<i>Snowella rosea</i> (Snow) Elenkin 1938	*	*		*		*		*		
<i>Spirulina laxa</i> G.M.Smith 1916	*				*					
<i>Woronichinia compacta</i> (Lemmermann) Komarek et Hindak 1988 (= <i>Gomphosphaeria lacustris</i> f. <i>compacta</i> (Lemmermann) Elenkin 1938)	*	*		*	*	*		*	*	
<i>Woronichinia delicatula</i> (Skuja) Komárek & Hindák 1988 (= <i>Gomphosphaeria aponina</i> f. <i>delicatula</i> (Vir.) Elenk.)								*		
<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin 1933	*			*	*			*		
Примечание. Принятые обозначения: 1 – оз. Алакуль; 2 – оз. Большое Бутырино; 3 – оз. Малое Бутырино; 4 – оз. Щучье; 5 – оз. Большие Донки; 6 – оз. Заложное; 7 – оз. Найденово; 8 – оз. Суерское; 9 – р. Тобол; 10 – р. Утяк										

Пропорции флоры цианобактерий водоемов Курганской области составили 1:2,1:5,3:6,0, родовая насыщенность – 1:2,8. В сводном списке преобладают представители порядков *Synechococcales* и *Nostocales*, формируя 51,0 % от общего разнообразия цианобактерий (табл. 2).

Доля этих порядков в структуре отдела для водоемов Курганской области несколько меньше, чем для Челябинской (60,5 %) и Свердловской (58,7 %) области [10].

Спектры ведущих семейств и родов цианобактерий водоемов Курганской области свидетельствуют о том, что альгофлора региона обладает индивидуальными чертами, будучи сходной по общему составу спектров с таковыми Свердловской и Челябинской области (табл. 3). Доля семейств с мало видовым (1-5 таксонов) представительством составила 22,7 %, что является более низким показателем по сравнению со Свердловской и Челябинской областью, где более ярко выражены черты бореальных флор. В то же время роды с 1-2 видами составили 70,4 % от общего количества выявленных родов, что характерно для флор водоемов Уральского региона [11] и придает альгофлоре водоемов Курганской области определенное сходство с бореальными флорами.

Таблица 2.

Таксономическая структура цианобактерий водоемов Курганской области

Порядок	Семейство	Род	Вид	Внутривидовые таксоны	Идентифицировано до рода
<i>Nostocales</i>	6	13	30	9	2

<i>Chroococcales</i>	3	5	23	3	0
<i>Oscillatoriales</i>	6	11	28	4	0
<i>Pleurocapsales</i>	1	1	1	0	0
<i>Pseudanabaenales</i>	1	1	1	0	0
<i>Spirulinales</i>	1	1	3	0	0
<i>Synechococcales</i>	7	22	47	0	0
Всего	25	54	133	16	2

Наиболее распространены в водных объектах области следующие виды цианобактерий: *Aph. flos-aquae* (встречаемость 45 %), *Aph. delicatissima* (32 %), *Aphanocapsa muscicola* (Meneghini) Wille 1919 (45 %), *Ch. minutus* (36 %), *M. tenuissima* (45 %), *M. aeruginosa* (41 %), *Microcystis pulverea* (41 %), *P. limnetica* (41 %), *Pl. agardhii* (36 %), *S. lacustris* (36 %), *W. compacta* (32 %). Специфический комплекс видов, обнаруженных в каком-либо одном водоеме, объединил 86 таксонов рангом ниже рода (56.9 % от общего таксономического разнообразия цианобактерий).

Таблица 3.

Флористические спектры ведущих семейств и родов цианобактерий в водоемах Курганской области

Ранг	Семейство	Количество таксонов (% от общего списка цианобактерий)	Ранг	Род	Количество таксонов (% от общего списка цианобактерий)
1	<i>Oscillatoriaceae</i>	24 (15,9)	1	<i>Anabaena</i> Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault	14 (9,3)
2	<i>Nostocaceae</i>	19 (12,6)	2	<i>Phormidium</i> Kützing ex Gomont	11 (7,3)
3	<i>Merismopediaceae</i>	18 (11,9)	3	<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann	10 (6,6)
4	<i>Aphanizomenonaceae</i>	14 (9,3)	4	<i>Oscillatoria</i> Vaucher ex Gomont	9 (6,0)
5	<i>Microcystaceae</i>	13 (8,6)	5-7	<i>Aphanocapsa</i> C. Nageli	7 (4,6)
6-7	<i>Chroococcaceae</i>	8 (5,3)	5-7	<i>Merismopedia</i> F. J. F. Meyen	7 (4,6)
6-7	<i>Coelosphaeriaceae</i>	8 (5,3)	5-7	<i>Dolichospermum</i> (Ralfs ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komarek	7 (4,6)
8	<i>Leptolyngbyaceae</i>	7 (4,6)	8	<i>Chroococcus</i> Nageli	6 (4,0)
9	<i>Pseudanabaenaceae</i>	6 (4,0)	9-10	<i>Aphanothece</i> C. Nageli	5 (3,3)
			9-10	<i>Nostoc</i> Vaucher ex Bornet & Flahault	5 (3,3)
	Всего	117 (77,5)		Всего	81 (53,6)

Эколого-географический анализ сводного списка цианобактерий показал, что среди таксонов с известным географическим распределением 84,7 % - космополиты, 9,4 % - бореальные виды, альпийские и аркто-альпийские виды представлены единично. По приуроченности к местообитанию преобладают истинно планктонные (38,9 %) и планктонно-бентосные формы (25,2 %). Существенной оказалась доля почвенных форм – 22,1 %, бентосных видов (10,7 %) и эпифитов (3,1 %) значительно меньше. По отношению к реофильности большинство видов (60,0 %) индифферентны, местообитания со стоячими водами предпочитают 36,7 % цианобактерий, обитатели текучих вод представлены единственным видом. Из видов-индикаторов солености преобладают индифференты (73,3 %), доля галофилов - 23,3 %, полигалофы и галофобы представлены единичными видами. Из галофилов значительного развития в исследованных водоемах достигали *Aph. flos-aquae* (оз. Б. Бутырино, р. Тобол), *M. aeruginosa* (оз. Б. Донки, Найденово, Суерское) и *Pl. limnetica* (оз.

Б. и М. Бутырино, Алакуль, Б. Донки). Обитатели чистых вод (χ -, χ -о, χ - β , о-сапробионты) формируют 15,5 % от общего числа выявленных видов-индикаторов сапробиности. Виды-индикаторы органического загрязнения среды составили 84,5 %, из них 50,7 % (о- β , β -о, о- α) могут успешно вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах. Доля видов-индикаторов умеренного и высокого уровня органического загрязнения (β -, β - α , β -р, α -сапробионтов) составила 33,8 %, из них, помимо *Aph. flos-aquae* и *M. aeruginosa*, значительного развития достигали *Aph. stagnina* (оз. Щучье), *M. flosaquae* (оз. Алакуль, Б. и М. Бутырино, Б. Донки, Суерское), *M. wesenbergii* (оз. М. Бутырино, Б. Донки, Заложное, р. Тобол), *S. lacustris* (оз. Алакуль, Б. Бутырино, Заложное, оз. Щучье), *W. compacta* (оз. Б. Бутырино, Б. Донки, Заложное, Найденово, Щучье, р. Тобол). По отношению к активной реакции водной среды 71 % от общего количества видов-индикаторов составляют индифференты.

При массовом развитии цианобактерий их доля в структуре фитопланктона может достигать (95,4 – 99,2) % от общей численности (оз. Алакуль, Б. Донки).

Полученные данные свидетельствуют о разнообразии цианобактерий в водных экосистемах Курганской области, важном значении этой таксономической группы в структуре фитопланктона, и необходимости дальнейшего изучения их распространения и развития в водоемах региона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воронихин Н. Н. Водоросли озер Курганской лесостепи// Труды Ботанического института Академии наук СССР. Спорные растения. Сер. 2. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1940. Вып. 4. С. 247-287.
2. Науменко Н. И., Суханов Д. В. Список растений Южного Зауралья (Курганская область и сопредельные территории России и Казахстана): методическое пособие. Курган: Изд-во Курганского университета, 1999. 35 с.
3. Санникова О. Ф. Сине-зеленые водоросли озер Курганской области// VIII Зырянские чтения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Курган, 09-10 декабря 2010 г.). Курган: Изд-во Курганского университета, 2010. С. 229-231.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 138-170.
5. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Изд-во «Университет и школа», 2003. 157 с.
6. M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2020. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения 15.04.2022 г.).
7. Барина С. С., Медведева О. В., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское изд-во "Pilies Studio", 2006. 498 с.
8. Особо охраняемые природные территории Курганской области/ под ред. И.Н. Некрасова. Курган, 2014. 188 с.
9. Природные ресурсы и охрана окружающей среды Курганской области в 2016 году. Курган, 2017. 233 с.
10. Еремкина Т. В. *Cyanoprocarota (Cyanobacteria)* водоемов Свердловской области (Средний Урал) // Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение: Материалы докладов II Международной научной школы-конференции, 16-21 сентября 2019 г., Сыктывкар, Россия. Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С.133-137.
11. Ярушина М. И., Танаева Г. В., Еремкина Т. В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 308 с.

REFERENCES

1. Voronihin N. N. Vodorosli ozer Kurganskoj lesostepi// Trudy Botanicheskogo instituta Akademii nauk SSSR. Sporovye rastenija. Ser. 2. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1940. Vyp. 4. P. 247-287. (In Russ.).
2. Naumenko N. I., Suhanov D. V. Spisok rastenij Juzhnogo Zaural'ja (Kurganskaja oblast' i sopredel'nye territorii Rossii i Kazahstana): metodicheskoe posobie. Kurgan: Izd-vo Kurganskogo universiteta, 1999. 35 p. (In Russ.).
3. Sannikova O. F. Sine-zelenye vodorosli ozer Kurganskoj oblasti// VIII Zyrjanovskie chtenija. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Kurgan, 09-10 dekabnja 2010 g.). Kurgan: Izd-vo Kurganskogo universiteta, 2010. P. 229-231. (In Russ.).
4. Metodika izuchenija biogeocenzov vnutrennih vodoemov. M.: Nauka, 1975. P. 138-170. (In Russ.).
5. Sadchikov A. P. Metody izuchenija presnovodnogo fitoplanktona. M.: Izd-vo «Universitet i shkola», 2003. 157 p. (In Russ.).
6. M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2020. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (Searched on 15.04.2022).
7. Barinova S. S., Medvedeva O. V., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okružhajushhej sredy. Tel'-Aviv: Russkoe izd-vo "Pilies Studio", 2006. 498 p. (In Russ.).
8. Osobo ohranjaemye prirodnye territorii Kurganskoj oblasti/ pod red. I.N. Nekrasova. Kurgan, 2014. 188 p. (In Russ.).
9. Prirodnye resursy i ohrana okružhajushhej sredy Kurganskoj oblasti v 2016 godu. Kurgan, 2017. 233 p. (In Russ.).
10. Eremkina T. V. Cyanoprocaryota (Cyanobacteria) vodoemov Sverdlovskoj oblasti (Srednij Ural) //Cianoprokarioty/cianobakterii: sistematika, jekologija, rasprostranenie: Materialy dokladov II Mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly-konferencii, 16-21 sentjabnja 2019 g., Syktyvkar, Rossija. Syktyvkar: IB FIC Komi NC UrO RAN, 2019. P.133-137. (In Russ.).
11. Jarushina M. I., Tanaeva G. V., Eremkina T. V. Flora vodoroslej vodoemov Cheljabinskoj oblasti. Ekaterinburg: UrO RAN, 2004. 308 p. (In Russ.).

Информация об авторах

T.V. Eremkina – кандидат биологических наук старший научный сотрудник.

Information about the authors

T.V. Eremkina – PhD in Biological sciences, senior researcher.

Лилия Ханифовна Зарипова¹, Рустэм Расшатович Кабиров²

^{1, 2}Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

¹karolada@mail.ru

²kkabirov@yandex.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ШТАММОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Аннотация. В статье предложен один из вариантов оформления экологического паспорта с целью выбора наиболее устойчивого штамма водорослей и цианобактерий, которые могут быть использованы для биотехнологических целей исследовательского характера и стать модельными объектами фундаментальных исследований. Наличие экологических паспортов откроет возможности сотрудничества с биотехнологическими и медицинскими компаниями с целью разработки технологии производства и получения конечных продуктов из охарактеризованных и отобранных штаммов.

Ключевые слова: экологический паспорт, границы устойчивости, штамм водорослей и цианобактерий

ECOLOGICAL PASSPORT OF CYANOBACTERIA STRAINS

Abstract. The article suggests one of the options for the design of an ecological passport in order to select the most stable strain of algae and cyanobacteria, which can be used for biotechnological research purposes and become model objects of fundamental research. The presence of ecological ports will open up opportunities for cooperation with biotechnological and medical companies in order to develop production technologies and obtain end products from characterized and selected strains.

Keywords: ecological passport, limits of resistance, strain of algae and cyanobacteria.

Экологический паспорт представляет собой развернутую характеристику реакций данного вида цианобактерий на конкретные экологические факторы. Он облегчает решение многих важных задач, связанных с изучением и использованием различных видов и штаммов цианобактерий.

В частности, информация, содержащаяся в нем, позволит оценить устойчивость рассматриваемого штамма к природным и антропогенным факторам на анатомо-морфологическом, физиологическом и популяционном уровнях. Кроме того, наличие экологических паспортов будет способствовать более успешному выбору штамма для соответствующего использования (рекультивации, биоиндикации, получения физиологически активных веществ и т.д.). Следует также учитывать, что коллекции, у которых водоросли и цианобактерии имеют экологические паспорта, по-видимому, будут более успешны в коммерческом плане.

Содержание экологического паспорта может варьировать в широких пределах, так как пока нет определенного стандарта. Мы предлагаем следующий вариант.

Содержание экологического паспорта цианобактерии.

1. Титульный лист, где указывается название вида и его синонимы. Систематический статус данного вида, его анатомо-морфологические характеристики.
2. Сведения о разработчиках экологического паспорта.
3. Характеристика и географическая привязка местообитания, откуда были выделены штаммы данного вида, число месяц и год выделения.
4. Место и условия хранения штаммов.
5. Границы устойчивости к экологическим факторам.

Оформление и содержание экологического паспорта можно рассмотреть на примере цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoënsе Elenkin* [3].

1. *Cylindrospermum michailovskoënsе Elenkin* (Cyanoprokaryota)

Признавая современный статус цианобактерий с учётом номенклатурных изменений, рассмотрена номенклатура и классификация цианобактерий по И. Комарек и К. Анагностидис [5],

согласно которой цианобактерии рассматриваются в ранге класса *Cyanophyceae* в отделе *Cyanoprokaryota*.

Вид *Cylindrospermum michailovskoense Elenkin* имеет следующий таксономический статус: отд. *Cyanobacteria*, класс *Cyanophyceae*, порядок *Nostocales*, семейство *Nostocaceae*, род *Cylindrospermum* [6]. М.М. Голлербах, Е.К. Коссинская, В.И. Полянский [2] дают следующий диагноз вида *Cylindrospermum michailovskoense Elenkin* – Цилиндроспермум михайловский: дерновинки в форме слизистых комочков, тонких плёнок или хлопьев, чаще – неопределённых очертаний, большей частью сине-зелёной окраски. Трихомы прямые или изогнутые, у поперечных перегородок перешнурованные, бледно-сине-зелёные, без оформленных влагилиц, или очень редко, с очень нежными, едва заметными влагилицами, одинаковой ширины (3,5-5 мкм) на всем протяжении, без газовых вакуолей. Клетки удлинённо-цилиндрические или бочёнкообразные 6-7,2 мкм длиной, или почти квадратные, 4,5 мкм дл. Конечные клетки по своей форме не отличаются от других клеток трихома.

Гетероцисты терминальные, одиночные, располагающиеся на обоих концах трихомов, немного удлинённые, 5-6-(7) мкм шир. и 7-8-(12) мкм дл., реже почти шаровидные. Споры широко- или удлинённо-эллипсоидные (молодые – цилиндрические), 8-13,2 мкм шир. и 12-32,6 мкм дл., с гладкой бесцветной оболочкой, одиночные, очень редко по 2 или даже по 3 рядом.

Встречается в стоячих водах между другими водорослями, иногда в планктоне и в почвах. Часто встречается на дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почвах, реже на серых и бурых лесных почвах под лесом, образуют характерные тёмные слизистые пятна на поверхности глинистой и суглинистой почвы [1].

2. Разработчики экологического паспорта: проф. Кабиров Р.Р., доцент Зарипова Л.Х.

3. Выделен 15.06.2006 г. из пойменной почвы около реки Большая Караганка (Россия, Челябинская область) и переведен в музейную культуру.

4. Хранится штамм в коллекции Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы (англ. *Bashkortostan Collection of Algae and Cyanobacteria*, сокращённо ВСАС). Это крупнейшее в России собрание микроскопических водорослей и цианобактерий. организмов. Насчитывает более 1200 уникальных неповторяющихся штаммов. Они выделены на территории России, Украины, США, Франции, Германии. Зарегистрирована в World Federation for Culture Collection (WFCC). Используется для проведения фундаментальных и прикладных исследований в направлениях: прикладная микробиология, экология, охрана окружающей среды, молекулярная биология, систематика и таксономия, биоразнообразие и географическое распределение водорослей, биоиндикация [4].

5. Границы устойчивости к экологическим факторам.

В результате проведенных исследований [3] установлено, что при воздействии высоких температур от 40°C и выше наблюдалось массовое образование спор, в интервале 20-30° С и при изучении реакции среды в диапазоне рН от 7 до 7,5 не вызывали морфологических нарушений вегетативных клеток, гетероцист и спор данного вида.

Среди исследованных хлоридов тяжелых металлов более токсичным оказался хлорид кадмия. При внесении хлорида кадмия изученный вид сохранял свою морфологию при концентрациях 1×10^{10} - 1×10^{-9} моль/л, наибольшую резистентность показал к хлориду марганца выдерживающий концентрации до 1×10^{-4} моль/л.

При изучении влияния гербицидов нитрана, триаллата и минеральных удобрений мочевины, суперфосфата, хлорида калия на морфологические признаки штамма *Cylindrospermum michailovskoense Elenkin* был установлен следующий ряд токсичности: нитран > триаллат > суперфосфат > хлорид калия > мочевины. Концентрации нитрана 10^{-5} и триаллата 10^{-4} - 10^{-3} моль/л вызывали грануляцию цитоплазмы, обесцвечивание и полное разрушение вегетативных клеток и гетероцист цианобактерий. Концентрации суперфосфата 1×10^{-3} , хлорида калия 5×10^{-2} и мочевины 2×10^{-1} моль/л вызывали полное разрушение клеток. Самыми устойчивыми к высоким концентрациям оказались споры [3].

Границы устойчивости морфологического статуса штамма к экстремальным экологическим факторам представлены в таблице 1.

Границы устойчивости морфологического статуса *Cylindrospermum michailovskoense* Elenkin (Cyanoprokaryota)

1	2
Фактор	Концентрация, при которой не наблюдались нарушения морфологических показателей данного штамма
Засоление	
Na ₂ CO ₃	1x10 ⁻³
Соли тяжелых металлов	
CdCl ₂	1x10 ⁻⁹
CuCl ₂	1x10 ⁻⁹
NiCl ₂	1x10 ⁻⁵
PbCl ₂	1x10 ⁻⁸
MnCl ₂	1x10 ⁻⁴
Гербициды	
Нитран	1x10 ⁻⁸
Триаллат	1x10 ⁻⁸
Удобрения	
Суперфосфат	4x10 ⁻⁵
Хлорид калия	1x10 ⁻³
Мочевина	2x10 ⁻³

Примечание. Концентрации токсикантов указаны в моль/л.

Результаты исследований позволяют использовать штамм *Cylindrospermum michailovskoense* Elenkin в экологическом мониторинге.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голлербах, М.М. Почвенные водоросли/ М.М. Голлербах, Э.А. Штина. – Л.: Наука, 1969. – 228 с.
2. Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
3. Зарипова Л.Х. Биология и экология почвенной цианобактерии *Cylindrospermum Michailovskoense* (Cyanoprokaryota) [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Зарипова Лилия Ханифовна. – Уфа, 2009. – 18 с.
4. Кабиров Р.Р. Биотехнологические аспекты использования микроскопических водорослей и цианобактерий / Р.Р. Кабиров, Гайсина Л.А., Суханова Н.В., Краснова В.В. // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – №7. – С.128-129.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales // Susswasserflora von Mitteleuropa. Bd.19/1. Jena-Stuttgart-LübeckUlm: G. Fischer, 2005. – 759 p.
6. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4: Nostocales. – *Algol. Stud.* – 1989. – Vol. 56. – P. 247–345.

REFERENCES

1. Gollerbax, M.M. Pochvenny`e vodorosli/ M.M. Gollerbax, E`.A. Shtina. – L.:Nauka, 1969. – 228 s.
2. Gollerbax M.M., Kossinskaya E.K., Polyanskij V.I. Sinezeleny`e vodorosli // Opredelitel` presnovodny`x vodoroslej SSSR. M.: Sov. nauka, 1953. – Vy`p. 2. – 652 s.
3. Zaripova L.X. Biologiya i e`kologiya pochvennoj cianobakterii *Cylindrospermum Michailovskoense* (Cyanoprokaryota) [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16 / Zaripova Liliya Xanifovna. – Ufa, 2009. – 18 s.
4. Kabirov R.R. Biotexnologicheskie aspekty` ispol`zovaniya mikroskopicheskix vodoroslej i cianobakterij / R.R. Kabirov, Gajsina L.A., Suxanova N.V., Krasnova V.V. // Mezhdunarodny`j zhurnal e`ksperimental`nogo obrazovaniya. – 2016. – №7. – S.128-129.

5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprocarvota. 2. Teil: Oscillatoriales // Susswasserflora von Mitteleuropa. Bd.19/1. Jena-Stuttgart-LübeckUlm: G. Fischer, 2005. – 759 r.

6. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of the cyanophytes 4: Nostocales. – Algol. Stud. – 1989. – Vol. 56. – P. 247–345.

Информация об авторах

Л.Х. Зарипова – кандидат биологических наук, доцент;

Р.Р. Кабиров – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

L.H. Zaripova – candidate of biological sciences, associate professor.

R.R. Kabirov – doctor of biological sciences, sciences professor.

Елена Михайловна Кезля¹, Евгений Иванович Мальцев², Максим Сергеевич Куликовский³

^{1,2,3} *Лаборатория молекулярной систематики водных растений*

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.

¹ *melosira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>*

² *mz_5@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>*

³ *max-kulikovsky@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАБАРКОДИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЦИАНОПРОКАРИОТ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В последнее десятилетие метабаркодинг все больше используется для изучения разнообразия водорослей и цианопрокариот. В статье обсуждаются проблемы, связанные с расшифровкой данных метабаркодинга, получением референсных последовательностей, а также пробелы в базах данных, возможности количественной оценки, влияние выбора праймеров и методов биоинформационной обработки на результаты анализа.

Ключевые слова: метабаркодинг, цианопрокариоты, биоиндикация, 16S рРНК, референсные последовательности

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-24-00965.

Elena M. Kezlya¹, Yevhen I. Maltsev², Maxim S. Kulikovskiy³

^{1,2,3} *Laboratory of Molecular Taxonomy of Aquatic Plants, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS: Moscow*

¹ *melosira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>*

² *mz_5@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4710-319X>*

³ *max-kulikovsky@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0999-9669>*

USING METABARCODING TO STUDY CYANOPROKARYOTES: PROBLEMS AND PROSPECTS

Abstract. In the last decade, metabarcoding has been increasingly used to study the diversity of algae and cyanoprokaryotes. The article discusses the problems associated with deciphering metabarcoding data, obtaining reference sequences, as well as gaps in databases, quantification possibilities, the impact of primer selection and bioinformatics processing methods on the analysis results.

Keywords: metabarcoding, cyanoprokarites, bioindication, 16S pRNA, reference sequences

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 22-24-00965.

Использование метабаркодинга для изучения водорослей в целом и цианопрокариот в частности связано прежде всего с задачами по оценке и мониторингу качества природных вод методами биоиндикации. Как известно, расчет индексов оценки качества воды и экологического статуса водоема основаны на чувствительности видов к условиям окружающей среды и, следовательно, требуют достоверной идентификации таксонов. Особое внимание в этом контексте необходимо уделять цианопрокариотам т.к. некоторые виды (например: *Oscillatoria rubescence*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena circinalis*, *Nodularia spumigena*, *Cylindrospermopsis mceberskii*, *Microcystis aeruginosa*, *Nostoc carneum* и

т.д. образуют токсины и могут вызывать «цветения» водоемов и, как следствие, массовые заморы рыбы [1]. При этом максимального контроля требуют водоемы, которые используются для централизованного водоснабжения.

В связи с огромным разнообразием водорослей и цианопрокариот идентификация представляет трудоемкий и затратный по времени этап, который включает микроскопический анализ, культивирование, получение последовательностей по одному или двум участкам маркерных генов (16S, ITS), определение филогенетического положения таксона. При этом для мониторинга и биоиндикации необходимы быстрые и экономичные методы анализа природных объектов.

Последние годы обеспечили интенсивный прогресс во внедрении молекулярных методов в самых разных областях исследований в области экологии. Молекулярно-генетические методы используются для выявления разнообразия, изучения систематики и филогении организмов. Кроме этого, развитие подходов секвенирования следующего поколения (next generation sequencing или NGS) позволяет разрабатывать эффективные методы экспресс-оценки разнообразия и структуры сообществ различных экосистем, для использования их в биоиндикации. Одним из таких методов является метабаркодинг. В его основе лежит применение так называемого штрихкода (или баркода) – фрагмента ДНК длиной 250-300 пар нуклеотидов, который используют как универсальный маркер для видовой идентификации организмов. В результате статистической обработки данных для каждого природного образца получают список операциональных таксономических единиц (OTU) с указанием числа последовательностей. Это позволяет оценить общее разнообразие, определить относительное обилие видов, оценить структуру сообщества. Метод позволяет одновременно анализировать таксономическое разнообразие в более 150 образцах, обладает высокой чувствительностью, т.к. обнаруживает виды даже при очень низкой численности, не требует привлечения большого числа специалистов для идентификации и является более эффективными по времени и стоимости, чем классические методы определения таксонов.

Расшифровка данных метабаркодинга заключается в соотношении штрихкодов полученных OTU с референсными последовательностями из баз данных (например: GeneBank, Silva). Несмотря на то, что к настоящему времени для водорослей в целом и цианопрокариот в частности, накоплен большой объем молекулярных данных, проблема с идентификацией видов по штрихкоду еще долго будет актуальной. Современные базы данных последовательностей содержат множество записей, которые не могут быть отнесены ни к морфотипу, ни к названию вида, для многих референсных последовательностей определение дано только до рода, не редки случаи ошибочной идентификации, что вносит большую путаницу в анализ. Отсутствие связанных метаданных, в которых должно присутствовать изображение с различимыми морфологическими и морфометрическими особенностями, описание экологической приуроченности, ограничивает изучение морфологической вариабельности и экологического диапазона таксона.

Это связано с тем, что получение референсной последовательности по-прежнему остается очень трудоемким этапом и занимает много времени. При отсадке клеток микропипетированием в культуру выходит только 30-60% т.к. не все клетки не размножаются в искусственной среде. Нарращивание биомассы для последующего выделения ДНК занимает от 4 до 6 недель (в некоторых случаях до 10 месяцев). Состояние и чистоту культуры необходимо постоянно контролировать. Проблемы могут возникать на этапе ПЦР (недостаточное количество, отсутствие или загрязнение продукта). В результате секвенирования можно получить нецелевые организмы, например: гетеротрофные бактерии, бесцветные жгутиконосцы и т.п., что свидетельствует о заражении культуры. Этап идентификации неизменно требует от исследователя обширных знаний в области морфологии, современных преобразований в систематике, также нужно учитывать постоянно обновляющуюся информацию об описании новых видов. Многие виды очень мелкие, не превышают 10-15 мкм, поэтому для идентификации необходимо подробное изучение морфологических характеристик при помощи светового, сканирующего или

трансмиссионного микроскопов, что также требует больших временных затрат. Поэтому создание штрихкодовых библиотек с проверенной таксономией и связанными метаданными является актуальным и приоритетным запросом современных исследований, конечной целью которого является автоматизация идентификации видов.

Первые последователи метабаркодирования надеялись, что результаты будут отражать количественную оценку и число последовательностей будет коррелировать с биомассой в исходном образце [2]. Однако, численность копий гена 16S рРНК не отражает в полной мере численность самого таксона, поскольку бактерии содержат неодинаковое количество генов 16S рРНК в геноме, оно может варьировать от 1 до 16. Таким образом, численность микроорганизмов с большим количеством 16S рРНК оперонов в клетке завышается [3]. К настоящему времени исследование по определению корреляции между количеством рДНК и биообъемом клеток проведено только для 6 видов диатомовых водорослей и 9 видов динофлагеллят [4]. Выявлена линейная регрессия между этими параметрами. Рассчитаны коэффициенты корреляции, которые позволяют оптимизировать данные метабаркодинга и определить количественные показатели видов. Для цианопрокариот такие работы пока не проводились. Поэтому для определения количественной оценки взаимосвязи между биомассой и выходом ДНК у цианопрокариот необходимы методические работы с использованием фиктивных сообществ и известными входными данными.

Важным вопросом при использовании метабаркодинга является выбор праймеров. В исследованиях, связанных с изучением сообществ бактерий, цианопрокариоты часто не обнаруживаются. Универсальные праймеры 16S рДНК не выявляют фотосинтезирующих цианопрокариот. Для амплификации последовательностей фотосинтезирующих видов необходимо использовать «фитоспецифические праймеры» [5].

Также следует обратить внимание на вопросы, связанные с обработкой данных метабаркодинга. Большое разнообразие методов биоинформатики (например: кластеризация OTU, обнаружение химер, таксономическое назначение) и параметры (например: порог процентного сходства, используемый для определения OTU), а также использование в метабаркодинговых исследованиях разных генетических маркеров (для цианопрокариот V3-V4 16S или 23S, для эукариотических водорослей V4, V9, 18S, ITS, rbcL, cox) затрудняют сравнение исследований.

Заключение. Растущее количество исследований с применением метода метабаркодинга подчеркивает важность оптимизации протоколов и необходимость стандартного методологического подхода для обеспечения сопоставимости между результатами. Количественная оценка данных метабаркодинга требует методической проверки и оценки корреляции с результатами подсчетов обилия цианопрокариот на световом микроскопе. Для корректной расшифровки данных, необходимо пополнять баркодовые библиотеки качественными визуализированными референсными последовательностями со связанными метаданными. В целом использование метабаркодинга для целей биоиндикации позволит значительно расширить объем данных, упростить и ускорить обработку и сопоставление информации и, в результате, повысить качество оценки состояния природных вод.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Al-Hussieny A.A. Algae Toxins and Their Treatment / A.A. Al-Hussieny // Microalgae [Working Title] [Internet]: editors Zepka, L.Q., Jacob-Lopes, E., Deprá, M. C., – London:

IntechOpen, 2022 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://www.intechopen.com/online-first/80734> doi: 10.5772/intechopen.102909

2. Lamb P.D. How quantitative is metabarcoding: A meta-analytical approach / P. D. Lamb, E. Hunter, J. K. Pinnegar, S. Creer, R. G. Davies, M. I. Taylor // *Molecular Ecology*. – 2019 – №28. – P.420-430. <https://doi.org/10.1111/mec.14920>

3. Семенов М. В. Метабаркодинг и метагеномика в почвенно-экологических исследованиях: успехи, проблемы и возможности / М. В. Семенов // *Журнал общей биологии*. – 2019. – Том 80. – № 6. – С. 403-417. DOI: 10.1134/S004445961906006X

4. Godhe A. Quantification of Diatom and Dinoflagellate Biomasses in Coastal Marine Seawater Samples by Real-Time PCR / A. Godhe, M. E. Asplund, K. Harnstrom, V. Saravanan, A. Tyagi, I. Karunasagar // *Applied and environmental microbiology*. – 2008. – Vol. 74 – No. 23. – P. 7174-7182. doi:10.1128/AEM.01298-08

5. Betournay S. Selective recovery of microalgae from diverse habitats using "phyto-specific" 16S rDNA primers / Betournay S., Marsh A., Donello N., Stiller J. // *Journal of Phycology*. – 2007. – No.43. – P. 609 - 613. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2007.00350.x

REFERENCES

1. Al-Hussieny A.A. Algae Toxins and Their Treatment / A.A. Al-Hussieny // *Microalgae [Working Title] [Internet]: editors Zepka, L.Q., Jacob-Lopes, E., Deprá, M. C., – London: IntechOpen, 2022 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://www.intechopen.com/online-first/80734> doi: 10.5772/intechopen.102909*

2. Lamb P.D. How quantitative is metabarcoding: A meta-analytical approach / P. D. Lamb, E. Hunter, J. K. Pinnegar, S. Creer, R. G. Davies, M. I. Taylor // *Molecular Ecology*. – 2019 – №28. – P.420-430. <https://doi.org/10.1111/mec.14920>

3. Semenov M. V. Metabarkoding i metagenomika v pochvenno-ekologicheskikh issledovaniyah: uspekhi, problemy i vozmozhnosti / M. V. Semenov // *Zhurnal obshchej biologii*. – 2019. – Tom 80. – № 6. – P. 403-417. DOI: 10.1134/S004445961906006X

4. Godhe A. Quantification of Diatom and Dinoflagellate Biomasses in Coastal Marine Seawater Samples by Real-Time PCR / A. Godhe, M. E. Asplund, K. Harnstrom, V. Saravanan, A. Tyagi, I. Karunasagar // *Applied and environmental microbiology*. – 2008. – Vol. 74 – No. 23. – P. 7174-7182. doi:10.1128/AEM.01298-08

5. Betournay S. Selective recovery of microalgae from diverse habitats using "phyto-specific" 16S rDNA primers / Betournay S., Marsh A., Donello N., Stiller J. // *Journal of Phycology*. – 2007. – No.43. – P. 609 - 613. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2007.00350.x

Информация об авторах

Е.М. Кезля – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Е.И. Мальцев – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;

М.С. Куликовский – доктор биологических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

E.M. Kezlya – PhD, senior researcher;

E.I. Maltsev – PhD, leading researcher;

M.S. Kulikovskiy – Doctor of Philosophy, chief scientific officer.

Екатерина Витальевна Козлова¹, Светлана Евгеньевна Мазина^{2,3,1}, Максим Викторович Ларионов^{4,5,3,1}

¹Российский университет дружбы народов

²ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены
Федерального медико-биологического агентства,

³Российский государственный аграрный заочный университет

⁴Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

⁵Государственный университет по землеустройству

¹kozlova-ev@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4325-6930>

^{2,3,1}conophytum@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0108-5339>

^{4,5,3,1}m.larionow2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

Автор, ответственный за переписку: Козлова Екатерина Витальевна
kozlova-ev@rudn.ru

РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ВО ВХОДНЫХ ЗОНАХ ПЕЩЕР НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БАШКИРИЯ»

Аннотация. Уникальность и специфичность подземных местообитаний затрудняет подбор оптимальных методов, необходимых для корректного выделения микроорганизмов, реализующихся в этих экосистемах. Использование стандартных методик без учета особенностей местообитаний способно исказить полученные результаты, как в отношении видового состава, так и структуры сообществ. Целью данного исследования было выделение цианобактерий из сообществ обрастаний входных фотических зон шести пещер Кутукского урочища Национального парка «Башкирия». Образцы отбирали с каждого визуально различимого участка сообщества, культивирование проводили при разных уровнях освещенности (от 300 люкс до стандартных 2000-3000 люкс) и различных температурных условиях (4, 12, 24 °С), используя среды Громова №6, Бристоль и экстракт из субстратов (аналог почвенной вытяжки). Общее обилие в фотической зоне пещеры оценивали, исходя из суммарного обилия вида в исследованных сообществах обрастаний. В результате обнаружено 47 видов цианобактерий, в видовом составе доминировали представители отдела *Nostocales*. Выявлены виды, приуроченные к синузиям мохообразных, а также биопленки цианобактерий, имеющие постоянный видовой состав в различных пещерах. Проведено сравнение полученных результатов и видового состава цианобактерий, ранее выделенных из различных местообитаний, для входной зоны пещеры Кутук-Сумган.

Ключевые слова: подземные местообитания, экотоны, пещеры, цианобактерии, биопленки.

Ekaterina V.Kozlova¹, Svetlana E. Mazina^{2,3,1}, Maxim V. Larionov^{4,3,1}

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

²Research and technical center of radiation-chemical safety and hygiene FMBA of Russian Federation

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Agrarian Correspondence University

⁴Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev)

⁵The State University of Land Use Planning

¹kozlova-ev@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4325-6930>

^{2,3,1}conophytum@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0108-5339>

^{4,3,1}m.larionow2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0834-2462>

Corresponding author: Kozlova Ekaterina V., kozlova-ev@rudn.ru

DIVERSITY OF CYANOBACTERIA IN THE ENTRANCE ZONES OF THE CAVES OF THE BASHKIRIA NATIONAL PARK

Abstract. The uniqueness and specificity of underground habitats makes it difficult to select the optimal methods necessary for the correct isolation of microorganisms that are realized in these ecosystems. The use of standard methods without considering the characteristics of habitats can distort the results obtained, both in terms of species composition and community structure. The aim of this study was to isolate cyanobacteria from the phototrophic communities of the entrance photic zones of six caves of the Kutuk tract of the Bashkiria National Park. Samples were taken from each visually distinguishable area of the community, cultivation was carried out at different levels of illumination (from 300 lux to standard 2000-3000 lux) and various temperature conditions (4, 12, 24 °C), using Gromov's No. 6 and Bristols media, and extract from substrates (similar to soil extract). The total abundance in the photic zone of the cave was estimated based on the total abundance of the species in the studied communities. As a result, 47 species of cyanobacteria were found, representatives of the *Nostocales* dominated in the species composition. Species associated with synusia of bryophytes, as well as biofilms of cyanobacteria with a constant species composition in various caves, have been identified. The obtained results and the species composition of cyanobacteria previously isolated from different habitats were compared for the entrance zone of the Kutuk-Sumgan cave.

Key words: underground habitats, ecotones, caves, cyanobacteria, biofilms.

В последние годы увеличился интерес к изучению карстовых подземных местообитаний. Был проведен ряд исследований, в результате которых уточнены и расширены экологические особенности фотических зон карстовых пещер. Помимо того, что они являются экотонами между наземными и подземными экосистемами, выявлена их роль как микрорефугиумов [1; 2]. Обсуждаются адаптации видов, механизмы формирования и типы сообществ, сукцессия и конкуренция в фотических зонах пещер. По данным многих исследователей, наиболее приспособленными к условиям пещер являются цианобактерии, способные выживать при низких уровнях освещения [3, 4]. Именно цианобактерии часто являются доминантами в пещерных сообществах и преобладают во флоре фотической зоны и во вторичных сообществах экскурсионных пещер, оборудованных искусственным освещением [5, 6].

Несмотря на растущий интерес к изучению фототрофов пещер и увеличению количества исследований водорослей и цианобактерий подземных полостей, наблюдающемуся в последние годы, информации о биоразнообразии пещерной флоры крайне мало. Важно оценивать динамику видового состава с целью выявления возможных изменений, при этом индикаторными видами могут служить цианобактерии, как наиболее характерные для пещерной среды. Особенно актуален анализ биоты пещер на территориях с возрастающей антропогенной нагрузкой. Одним из таких участков является Кутукское урочище Национального парка «Башкирия», где пролегают экологические тропы.

Таким образом, целью данного исследования было определение биоразнообразия цианобактерий фотических зон некоторых пещер Кутукского урочища, расположенного в

национальном парке «Башкирия». *Кутук-Сумган* является самой протяженной пещерой на Урале и крупнейшей пещерой-шахтой региона, входная зона которой представляет собой обширный колодец 10 на 20 метров. *Кутукская-4* – самая глубокая пещера Урала с входной зоной в виде 10-метрового вертикального колодца. *Кутукская-1 (Ледяная)* имеет наклонный обледенелый спуск во входное отверстие. *Кутукская-2 (Сталактитовая)* начинается провальной воронкой, переходя в грот. Пещера *Кутукская-2* начинается провальной воронкой, за которой следует грот. *Кутукская-3* – пещера шахтного типа. Пещера *Зигзаг* представляет собой широкую галерею с боковыми притоками длиной и подземной рекой, в пещере есть два сифона.

В основном, исследования альгофлоры в пещерах проводятся с использованием традиционных методов, используемых для анализа наземных местообитаний. Анализируют пробы грунтов, воздуха, соскобы и мазки со сводов и пола пещеры, при наличии водных объектов – пробы воды и донных отложений. Посевы водорослей и цианобактерий культивируют при стандартных условиях освещения, не учитывая экологические особенности видов пещерных местообитаний. Таким образом могут быть получены результаты, отражающие не столько виды, которые реально обитают в пещере, сколько виды, чьи зачатки могут быть занесены в пещеру и находиться в отобранных образцах. Анализ участия видов в сообществах на основе их количественных показателей в посевах также может искажать реальную представленность вида в сообществе пещеры.

Через входные фотические зоны пещер проходит большое количество постоянных и периодических (в том числе сезонных) потоков: воздушные потоки, водные потоки различной мощности (реки или ручьи, струйчатые потки, капежи, паводковые и воды осадков), осыпи почв и грунтов, движение животных (включая троглофилов) и человека. Таким образом, перемещение биоты, в том числе фототрофной, может быть очень активным, что обеспечивает постоянное обновление зачатков фототрофов в фотической зоне.

С целью разделить виды, которые занесены в пещерную среду и виды, реализованные в пещерных местообитаниях, был разработан подход, основанный на выделении максимального количества видов из сообществ обрастаний пещер. В фотической зоне отбор проб проводили на каждом визуально различимом участке зарастания: мхи отбирали вместе с грунтом; водоросли и цианобактерии на кальците и известняке собирали вместе с кусками субстрата или делали соскобы; с глинистых отложений делали соскобы либо отбирали монолиты. Дополнительно отбирали соскобы и субстраты на участках без визуально выраженных обрастаний для оценки видового состава на субстрате.

В лаборатории образцы просматривали, оценивая обилие видов, используя 5-балльную шкалу в каждом сообществе. Общее обилие в фотической зоне пещеры оценивали, исходя из суммарного обилия вида в исследованных сообществах обрастаний. Для посевов отдельные клетки цианобактерий выделяли из сообщества при помощи микрокапилляра и культивировали при разных уровнях освещенности (от 300 люкс до стандартных 2000-3000 люкс) и различных температурных условиях (4, 12, 24 °C). Использовали среды Громова №6, Бристоль и экстракт из субстратов (аналог почвенной вытяжки) [7].

Предполагается, что применение метода капилляров позволяет сразу получить аксеничную культуру [8], но в случае цианобактерий это не так. Как показал наш опыт исследования пещерных цианобактерий, их успешное культивирование в аксеничной культуре редко бывает возможным, поскольку они в основном находятся в сообществе с гетеротрофными микроорганизмами. Наилучшие результаты обычно получают при культивировании смешанных культур, полученных из сообществ обрастаний, но соотношение видов в них может меняться, по сравнению с исходным образцом.

Во входных зонах пещер урочища Кутук-Сумган наблюдается высокое разнообразие различных сообществ: куртины мхов, биопленки в потоках и капежах, обрастания на кальците, породе и глинистых отложениях на кальците. Характерно наличие глинистых отложений на полу пещер и на полках в колодцах, причем эти отложения часто перемешаны с частицами почв, попадающими с поверхности либо осыпаясь с краев колодца, либо с

паводковыми или дождевыми водами. Активному перемещению массивных обрастаний способствуют и обрушения снежно-ледовых масс, увлекающих на дно колодцев пещер флору и почвы с поверхности, либо с полок колодца. Менее значимым фактором являются спелеологи, которые также могут механически уничтожить часть обрастаний.

Мощные глинистые отложения, в сочетании с постоянной высокой влажностью и достаточной для развития фототрофов освещенностью, обеспечивают активное развитие мохообразных в фотических зонах пещер. В пещерах урочища Кутук-Сумган представлены виды *Bryopsida*, не менее 6 в каждой из исследованных пещер, а также представители отделов *Anthocerotophyta* и *Marchantiophyta*, причем последние могут иметь высокое обилие и вносят вклад в средообразование, вместе с представителями листостебельных мхов.

Традиционно, культивирование водорослей и цианобактерий обычно при уровнях освещенности 2000-3000 лк и при комнатной температуре [9; 10], что, однако, не соответствует пещерным условиям и может исказить состав и структуру выявляемых сообществ.

Обнаружено 47 видов цианобактерий (Таблица 1). В таксономической структуре преобладали представители отдела *Nostocales* (13 видов) содоминантами были виды отдела *Synechococcales* (12 видов) и *Ostillatoriales* (11 видов).

Общее низкое участие цианобактерий во флоре фотических зон пещер обусловлено тем, что, в отличие от пещер более южных регионов или пещер с небольшими входами без постоянного притока влаги, с низким обилием мохообразных, в пещерах урочища Кутук-Сумган преобладают мхи. При этом локально, на уровне отдельных сообществ (обрастаний) цианобактерии доминируют.

Если рассматривать участие цианобактерий в растительном покрове фотических зон пещер Кутукского урочища, то можно выделить виды, характерные для синузий мохообразных: *Aphanocapsa muscicola*, *Tolypothrix tenuis*, *Nostoc punctiforme*, *Nodularia spumigena*, *Stigonema ocellatum*, *Synechococcus elongatus*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Tolypothrix tenuis*, *Synechocystis aquatilis*, *Aphanocapsa incerta*. Кроме того, обнаружены биопленки, имеющие постоянный видовой состав цианобактерий: *Leptolyngbya foveolarum*, *Leptolyngbya tenuis* и *Aphanocapsa muscicola*; *Leptolyngbya foveolarum*, *Leptolyngbya tenuis* и *Gloeocapsopsis pleurocapsoides*; *Gloeocapsopsis magma* и *Gloeocapsa artrata*; *Gloeocapsa artrata* и *Gloeocapsa rupestris*.

В ходе проведенного исследования был увеличен список видов, выявленных ранее во входной зоне пещеры Кутук-Сумган из различных местообитаний [9]. Сходство видового состава цианобактерий, выявленных в различных местообитаниях и цианобактерий, выделенных из сообществ, низкое, индекс сходства видового состава Жаккара $I_{JCR}=0,18$. Принимая во внимание увеличивающуюся антропогенную нагрузку на регион планируется продолжить исследования биоразнообразия флоры входных фотических зон пещер, а также оценку динамики развития сообществ.

Таблица 1

Обилие цианобактерий во входных зонах некоторых пещер Национального парка «Башкирия»

Вид	Балл обилия					
	Сумгук-Кутан	Кутукская-1	Кутукская-2	Кутукская-3	Кутукская-4	Зигзаг
Class <i>Cyanophyceae</i>						
Order <i>Nostocales</i>						
Family <i>Aphanizomenonaceae</i>						
Genus <i>Dolichospermum</i>						
<i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009				1		1
Genus <i>Nodularia</i>						
<i>Nodularia spumigena</i> Mertens ex Bornet & Flahault 1888	1				1	
Family <i>Calotrichaceae</i>						
Genus <i>Calothrix</i>						
<i>Calothrix elenkinii</i> Kossinskaja [Kosinskaya] 1924					2	
Family <i>Nostocaceae</i>						
Genus <i>Cylindrospermum</i>						
<i>Cylindrospermum</i> sp.						1
Genus <i>Nostoc</i>						
<i>Nostoc linckia</i> Bornet ex Bornet & Flahault 1886	1	2			1	2
<i>Nostoc paludosum</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886	1	1	1	1	1	1
<i>Nostoc punctiforme</i> Hariot 1891	1	1				
Genus <i>Trichormus</i>						
<i>Trichormus</i> sp.		1				
Family <i>Stigonemataceae</i>						
Genus <i>Stigonema</i>						
<i>Stigonema ocellatum</i> Thuret ex Bornet & Flahault 1886		1			1	
Family <i>Scytonemataceae</i>						

<i>Genus Scytonema</i>						
<i>Scytonema</i> sp.	1	2	1	1	2	1
<i>Family Tolypothrichaceae</i>						
<i>Genus Tolypothrix</i>						
<i>Tolypotrix</i> sp.	1	1	1	2	2	2
<i>Tolypothrix distorta</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886	1	1		1	1	
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kützing ex Bornet & Flahault 1886	1	1			1	1
<i>Order Chroococcales</i>						
<i>Family Aphanothecaceae</i>						
<i>Genus Aphanothece</i>						
<i>Aphanothece saxicola</i> Nägeli 1849	1					
<i>Order Chroococciopsidales</i>						
<i>Family Cyanothecaceae</i>						
<i>Genus Cyanothece</i>						
<i>Cyanothece major</i> (Schröter) Komárek 1976		1			1	
<i>Genus Gloeothece</i>						
<i>Gloeothece rupestris</i> (Lyngbye) Bornet 1880				1		1
<i>Family Chroococcaceae</i>						
<i>Genus Chroococcus</i>						
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann 1904		2		1		
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli 1849	3	1	1	1	2	1
<i>Chroococcus pallidus</i> Nägeli 1849			1			
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849	1	1		1	1	
<i>Order Oscillatoriales</i>						
<i>Family Chroococciopsidales familia incertae sedis</i>						
<i>Genus Gloeocapsopsis</i>						
<i>Gloeocapsopsis magma</i> (Brébisson) Komárek & Anagnostidis ex Komárek 1993	2	1			1	
<i>Gloeocapsopsis pleurocapsoides</i> (Nováček) Komárek &	2	1			1	

Anagnostidis ex Komárek 1993						
Family <i>Cyanothecaceae</i>						
Genus <i>Cyanothece</i>						
<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Nägeli) Komárek 1976	1		1			
Genus <i>Microcoleus</i>						
<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen 2013	1	1	1	1	1	1
Family <i>Microcystaceae</i>						
Genus <i>Gloeocapsa</i>						
<i>Gloeocapsa atrata</i> Kützing, nom. illeg. 1843	1	1		1	1	1
<i>Gloeocapsa rupestris</i> Kützing 1847					1	1
Family <i>Oscillatoriaceae</i>						
Genus <i>Oscillatoria</i>						
<i>Oscillatoria rupicola</i> (Hansgirg) Hansgirg ex Forti 1907	1	1	1	1	1	1
Genus <i>Phormidium</i>						
<i>Phormidium ambiguum</i> Gomont 1892		1				2
<i>Phormidium interruptum</i> Kützing ex Forti 1907	2		1		2	
<i>Phormidium lividum</i> (Hansgirg) Forti 1907		1			1	
<i>Phormidium terebriforme</i> (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988	1	1			2	
Order <i>Synechococcales</i>						
Family <i>Leptolyngbyaceae</i>						
Genus <i>Leptolyngbya</i>						
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988				1		
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988	3	1	1	1	3	1
<i>Leptolyngbya angustissima</i> (West & G.S.West) Anagnostidis & Komárek 1988	3	2	2	3	2	2
Genus <i>Phormidesmis</i>						

<i>Phormidesmis mollis</i> (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek 2009		1	2	1		1
Family <i>Merismopediaceae</i>						
Genus <i>Anathece</i>						
<i>Anathece minutissima</i> (West) Komárek, Kastovsky & Jezberová 2011			1			1
Genus <i>Aphanocapsa</i>						
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek 1994	1		1		1	
<i>Aphanocapsa muscicola</i> (Meneghini) Wille 1919	2	2	2	2	2	2
Genus <i>Synechocystis</i>						
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau 1892			1			1
<i>Synechocystis pevalekii</i> Ercegovic 1925	1		1			
Family <i>Synechococcaceae</i>						
Genus <i>Synechococcus</i>						
<i>Synechococcus elongatus</i> (Nägeli) Nägeli 1849	1	1	1	1	1	1
Family <i>Synechococcales familia incertae sedis</i>						
Genus <i>Jaaginema</i>						
<i>Jaaginema pseudogeminatum</i> (G.Schmid) Anagnostidis & Komárek 1988			1			
<i>Jaaginema subtilissimum</i> (Kützing ex Forti) Anagnostidis & Komárek 1988	2	1			1	1

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pereira R.F. Indicators of conservation value of Azorean caves based on its Bryophyte flora at cave entrances / R.Pierra F., P.A.V. Borges, J.P. Constância // Proceedings of the X, XI and XII International Symposia on Vulcanospeleology. – 2008. – P. 114-118.
2. Monro A.K. Discovery of a diverse cave flora in China / A.K. Monro, N. Bystrakova, L. Fu, F. Wen, Y. Wei // Discovery of a diverse cave flora in China. – PLoS ONE. – 2008. – 13: e0190801
3. Шарипова М. Ю. Водоросли карстовых пещер заповедника Шульган–Таш (Южный Урал, Россия) / М. Ю. Шарипова // Альгология. – 2001. – Т. 2. – N. 4. – С. 441-450.
4. Mulec J. Microorganisms in hypogen: examples from Slovenian karst caves / J. Mulec // Acta Carsologica. – 2008. – V. 37, N. 1. – P. 153-160.
5. Abdelahad N. On four Myxosarcina-like species (Cyanophyta) living in the Inferniglio cave (Italy) / N. Abdelahad // Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies. – 1989. – V. 54. – P. 3-13.
6. Smith T. A taxonomic survey of Lamp Flora (Algae and Cyanobacteria) in electrically lit passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky / T. Smith, R. Olson // International Journal of Speleology. – 2007. – Vol. 36. – P. 105-114.
7. Практикум по микробиологии [Текст] / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук и др.; под ред. А.И. Нетрусова – М.: Издательский центр «Академия», 2005 – 608 с.
8. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике [Текст] / Л. А. Сиренко, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов и др. ; Отв. ред. акад. А. В. Топачевский ; АН УССР, Ин-т гидробиологии. – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.
9. Абдуллин Ш.Р. Закономерности формирования разнообразия и синтаксономия цианобактериально-водорослевых ценозов пещер России и некоторых сопредельных государств [Текст]: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01 / Абдуллин Шамиль Раисович. – Уфа, 2015. – 440 с.
10. Kumar M. Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium *Spirulina platensis* at different light intensities and temperature / M. Kumar, J. Kulshreshtha, G. P. Singh // Brazilian journal of microbiology. – 2011. – Brazilian journal of microbiology. – Vol. 42, N. 3. – P. 1128–1135.

REFERENCES

1. Pereira R.F. Indicators of conservation value of Azorean caves based on its Bryophyte flora at cave entrances / R.Pierra F., P.A.V. Borges, J.P. Constância // Proceedings of the X, XI and XII International Symposia on Vulcanospeleology. – 2008. – P. 114-118.
2. Monro A.K. Discovery of a diverse cave flora in China / A.K. Monro, N. Bystrakova, L. Fu, F. Wen, Y. Wei // Discovery of a diverse cave flora in China. – PLoS ONE. – 2008. – 13: e0190801
3. SHaripova M. YU. Vodorosli karstovyyh peshcher zapovednika SHul'gan–Tash (YUzhnyj Ural, Rossiya) / M. YU. SHaripova // Al'gologiya. – 2001. – Т. 2. – N. 4. – S. 441-450.
4. Mulec J. Microorganisms in hypogen: examples from Slovenian karst caves / J. Mulec // Acta Carsologica. – 2008. – V. 37, N. 1. – P. 153-160.
5. Abdelahad N. On four Myxosarcina-like species (Cyanophyta) living in the Inferniglio cave (Italy) / N. Abdelahad // Archiv für Hydrobiologie, Supplement Algological Studies. – 1989. – V. 54. – P. 3-13.
6. Smith T. A taxonomic survey of Lamp Flora (Algae and Cyanobacteria) in electrically lit passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky / T. Smith, R. Olson // International Journal of Speleology. – 2007. – Vol. 36. – P. 105-114.
7. Praktikum po mikrobiologii [Tekst] / A.I. Netrusov, M.A. Egorova, L.M. Zaharchuk i dr.; pod red. A.I. Netrusova – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005 – 608 s.

8. Metody fiziologo-biohimicheskogo issledovaniya vodoroslej v gidrobiologicheskoy praktike [Tekst] / L. A. Sirenko, A. I. Sakevich, L. F. Osipov i dr. ; Otv. red. akad. A. V. Topachevskij ; AN USSR, In-t gidrobiologii. – Kiev: Nauk. dumka, 1975. – 247 s.

9. Abdullin SH.R. Zakonomernosti formirovaniya raznoobraziya i sintaksonomiya cianobakterial'no-vodoroslevykh cenozov peshcher Rossii i nekotorykh sopredel'nykh gosudarstv [Tekst]: dis. ... d-ra biol. nauk: 03.02.01 / Abdullin SHamil' Raisovich. – Ufa, 2015. – 440 s.

10. Kumar M. Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium *Spirulina platensis* at different light intensities and temperature / M. Kumar, J. Kulshreshtha, G. P. Singh // Brazilian journal of microbiology. – 2011. – Brazilian journal of microbiology. – Vol. 42, N. 3. – P. 1128–1135.

Информация об авторах

Е.В. Козлова – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник;

С.Е. Мазина – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент;

М.В. Ларионов – доктор биологических наук, в.н.с. профессор, ³Российский государственный аграрный заочный университет.

Information about the authors

E.V. Kozlova – Cand. Sci. (Biology), Junior researcher;

S.E. Mazina – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Associate Professor;

M.V. Larionov – Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Professor.

Ольга Алексеевна Кокшарова^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, koksharova@genebee.msu.ru

²НИИ ФХБ имени А.Н. Белозерского, Москва, Россия

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ И ФОТОСИНТЕЗ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Аннотация. Вторичные метаболиты микроорганизмов - это регуляторные молекулы, которые действуют как «информационные химические сигналы», контролирующие клеточные метаболические процессы. Эти молекулы служат для коммуникации бактерий в микробных сообществах. Экологическая роль микроводорослей в биосфере как основных производителей органического вещества ставит их на центральное место в различных экосистемах. Фотосинтез является центральным процессом в клетках микроводорослей и подвергается воздействию различных биотических и абиотических факторов. Различные вторичные метаболиты бактерий оказывают заметное регуляторное влияние на фотосинтез в клетках микроводорослей. В обзоре будут представлены экспериментальные результаты, демонстрирующие влияние нескольких типов широко распространенных метаболитов (летучих органических соединений и небелковых аминокислот) на фотосинтетическую активность в клетках микроводорослей (цианобактерий и зеленых водорослей). Использование этих молекул в качестве гербицидов может иметь большое значение как для их практического применения, так и для фундаментальных исследований молекулярных механизмов фотосинтеза и его регуляции.

Ключевые слова: аллелопатия, вторичные метаболиты, ВМАА, ЛОС, хлорофилл, фотосистемы, фитотоксичность, протеомика

Dr. Olga Koksharova^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, koksharova@genebee.msu.ru

²A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow, Russia

SECONDARY METABOLITES AND CYANOBACTERIA PHOTOSYNTHESIS

Abstract. Secondary metabolites of microorganisms are regulatory molecules that act as "informational chemical signals" that control cellular metabolic processes. These molecules serve for the communication of bacteria in microbial communities. The ecological role of microalgae in the biosphere as the main producers of organic matter puts them in a central place in various ecosystems. Photosynthesis is a central process in microalgae cells and is exposed to various biotic and abiotic factors. Various secondary metabolites of bacteria have a noticeable regulatory effect on photosynthesis in microalgae cells. The review will present experimental results demonstrating the effect of two types of widespread metabolites (volatile organic compounds and non-protein amino acids) on photosynthetic activity in cyanobacteria and eukaryotic green algae. The potential use of these molecules as herbicides may be of great importance both for their practical application and for fundamental studies of the molecular mechanisms of photosynthesis and its regulation.

Keywords: allelopathy, secondary metabolites, ВМАА, VOCs, chlorophyll, photosystems, phytotoxicity, proteomics

For citation: Koksharova O.A. Secondary metabolites and cyanobacteria photosynthesis. 2022. Vestnik BSPU, #..., p....

1. Введение

Концепция «первичных» и «вторичных» метаболитов была введена немецким биохимиком Альбрехтом Косселем в начале 20 века [1]. К первичным метаболитам он

относил нуклеиновые кислоты, белки, липиды, и углеводы. К вторичным метаболитам относятся маленькие молекулы, которые не являются необходимыми для выживания организма. Современные аналитические и биоинформационные методы исследований позволили идентифицировать более ста тысяч вторичных метаболитов бактерий. Эти молекулы относятся к различным группам химических соединений. Среди них антибиотики, алкалоиды, изопреноиды, фенольные соединения, пептиды, небелковые аминокислоты, летучие органические соединения (ЛОС) и многие другие. Появились первые базы данных, собравшие информацию о разных группах вторичных метаболитов. База данных, представляющая ЛОС, продуцируемые микроорганизмами, доступна на сайте (<http://bioinformatics.charite.de/mvoc>) [2]. Создана и пополняется новой информацией база данных, содержащая информацию о 3300 различных пептидах с антимикробным действием (<https://aps.unmc.edu>). Многие пептиды цианобактерий, такие как микроцистины и нодулярин, токсичны для человека и животных и поэтому называются цианотоксинами [3,4]. Другая группа широко распространенных и экологически значимых метаболитов включает в себя небелковые аминокислоты. Эти молекулы не кодируются геномами живых организмов и не принимают участия в синтезе белков. Многие из них являются аналогами белковых аминокислот и некоторые существуют как вторичные метаболиты в клетках различных организмов [5]. Синтез всех этих метаболитов требует затрат клеточной энергии и, вероятно, нужен продуцирующим их организмам

Коммуникация между микроорганизмами и макроорганизмами с помощью химических сигналов рассматривается как одна из центральных тем для исследований в области экологической микробиологии. Микробная коммуникация лежит в основе адаптивного поведения бактерий. Это можно видеть как на примере отдельных клеток, так и клеточных популяций. Тип коммуникации, получивший название «чувство кворума» (QS), ведет к изменениям в физиологии и поведении клеток, затрагивает формирование колоний, биопленок, вирулентность и многие другие свойства бактерий. В настоящее время вторичные метаболиты рассматриваются как «информационные молекулы» ("info-chemicals"), необходимые для общения микроорганизмов в различных экосистемах. Эти маленькие молекулы используются как средства аллелопатии в конкурентной борьбе микроорганизмов друг с другом и поэтому экологически очень важны. Учитывая роль фотоавтотрофных микроорганизмов в биосфере, особое внимание уделяется изучению метаболитов, как образуемых самими фотоавтотрофами, так и метаболитов, синтезируемых другими организмами и действующими на процесс фотосинтеза. Типичными представителями таких молекул, ингибирующих клетки микроводорослей, являются полифенолы и их производные; жирные кислоты; терпеноиды и их производные, а также азотсодержащие соединения (алкалоиды, анилины, аминокислоты и их производные).

Вторичные метаболиты заметно действуют на фотосинтез в клетках микроводорослей несколькими путями, среди них уменьшение содержания фотосинтетических пигментов, уменьшение скорости выделения кислорода, изменение кинетики первичных реакций фотосинтеза в ходе поглощения и распределения энергии, нарушение процесса переноса электронов между фотосистемами и внутри фотосистем. В этом обзоре будут рассмотрены экспериментальные результаты, демонстрирующие эффекты нескольких широко распространенных метаболитов (ЛОС, небелковых аминокислот) на процесс фотосинтеза в клетках микроводорослей.

2. Действие ЛОС на фотосинтез

ЛОС представляют наиболее распространенную и экологически значимую группу метаболитов. Растения, грибы и бактерии продуцируют разнообразные летучие органические соединения, обладающие различными биологическими функциями. Эти органические молекулы участвуют во взаимодействиях между организмами как сигнальные молекулы, которые затрагивают физиологию и развитие организмов, на которые воздействуют.

2.1. Фитотоксичный эффект цианобактериальных ЛОС на микроводоросли

Синтез и выделение ЛОС цианобактериями связан с энергетическим статусом клеток, который зависит как от фотосинтеза внутри клеток, так и от факторов окружающей среды, которые влияют на эти процессы. Среди этих факторов свет, температура, наличие питательных веществ (наличие фосфора, железа и азота), соленость, аэрация (перемешивание или статичные условия роста), фаговая инфекция, плотность популяции цианобактерий, возраст культуры (старение или апоптоз), присутствие фитофагов. ЛОС выступают в роли аллелопатических молекул при конкуренции водорослей в водных экосистемах. Типы синтезируемых ЛОС зависят от вида цианобактерии или водоросли. Некоторые летучие молекулы продуцируются обеими группами водорослей. Но часто спектр образуемых цианобактериями летучих органических соединений отличается от спектра ЛОС, образуемых водорослями. Цианобактерии образуют 2-MIB, geosmin, β -cyclocitral, β -ionone, monoterpene alcohols, aliphatic alcohols, aliphatic fatty acids, aldehydes и многие другие молекулы, которые действуют против водорослей. В виду того, что эукариотические микроводоросли и цианобактерии обитают в одних и тех же природных нишах, эти отличия могут принести цианобактериям селективное преимущество. Клетки цианобактерии *Microcystis* sp. продуцируют β -cyclocitral и eucalyptol, которые помогают этим цианобактериям ингибировать клетки Chlorophyta, например, *Chlamydomonas reinhardtii* и начать доминировать над зелеными водорослями в водных экосистемах [6].

Цианобактерия *M. flos-aquae* образует eucalyptol и limonene, которые ингибируют деление эукариотической зеленой водоросли *Chlorella vulgaris*. Было обнаружено, что в безазотистой среде содержание хлорофиллов Chla и Chlb заметно снижается в присутствии этих ЛОС. При действии этих терпеноидов снижается концентрация реакционных центров фотосистемы 2 (ФС2) и происходит ингибирование электронного транспорта в ФС2 в зеленой водоросли *Chlorella vulgaris*. Limonene и eucalyptol ускоряют рассеивание абсорбированной энергии в виде тепла. Эти терпеноиды вызывают деградацию фотосинтетических пигментов и нарушают процесс фотосинтеза в клетках эукариотических водорослей, что показывает их эффективность как инструментов аллелопатии у цианобактерий. В условиях нехватки питательных веществ (в отсутствие азота или фосфора) в среде роста цианобактерии способны увеличить продукцию разных ЛОС, и некоторые из них оказываются токсичными для конкурентов, что дает преимущество цианобактериям в конкурентной борьбе [6].

2.2. Бактериальные ЛОС ингибируют фотосинтез в клетках цианобактерий

Помимо водорослей и цианобактерий, многие другие бактерии также синтезируют многочисленные ЛОС. Так, нами было показано, что широко распространенные бактериальные штаммы *Pseudomonas* и *Serratia* синтезируют ЛОС, которые ингибируют развитие различных микроорганизмов, в том числе рост одноклеточных цианобактерий *Synechocystis* sp. PCC 6803, *Synechococcus* sp. PCC 7942, и нитчатой цианобактерии *Anabaena* sp. PCC 7120 [7]. Было высказано предположение о том, что мишенью действия бактериальных ЛОС в клетках цианобактерий может быть процесс фотосинтеза. Мы экспериментально проверили эту гипотезу. В качестве индивидуальных ЛОС были использованы кетоны, которые преобладали в смеси летучих соединений, выделяемых клетками *Pseudomonas* и *Serratia*. Было экспериментально показано *in vivo* что бактериальные кетоны ингибируют процессы фотосинтеза в клетках цианобактерий [8]. Анализируя кинетику флуоресценции хлорофилла, кинетику релаксации переменной флуоресценции, спектроскопию поглощения в видимой области спектра, спектроскопию эмиссионной флуоресценции и кинетику фотоиндукции реакционного центра ФС1, было обнаружено, что кетоны 2-нонанон и 2-ундеканон ингибируют перенос электронов через ФС2 в клетках *Synechococcus* sp. PCC 7942. Обработка клеток кетонами снижает квантовый выход первичных фотореакций ФС2 и изменяет кривые индукции флуоресценции хлорофилла ФС2. Было продемонстрировано, что кетоны ингибируют перенос электронов от Q_A к Q_B и перенос электронов на донорную сторону фотосистемы ФС2. Эти ЛОС модифицируют процесс передачи энергии от антенного комплекса к реакционному центру ФС2 и тем самым

увеличивают как квантовый выход флуоресценции хлорофилла, так и время жизни возбужденного состояния хлорофилла. Было высказано предположение, что эти кетоны могут действовать как аллелопатические инструменты для регулирования численности микробных популяций в их конкуренции за ограниченное питание экосистемах [8].

Остается еще много нерешенных вопросов, в том числе: (1) Каким образом «организовано» в клетке распределение и хранение связанных с клетками и растворенных летучих органических соединений? (2) Как происходит регуляция синтеза и восприятия ЛОС клетками цианобактерий? Существуют ли специфические рецепторы? (3) Каковы механизмы, лежащие в основе устойчивости самих цианобактерий к высоким концентрациям выделяемых ими ЛОС? (4) Каковы молекулярные регуляторные сигналы, которые индуцируют синтез ЛОС в клетках при определенных условиях? Применение методов мутагенеза и клонирования генов, биофизических методов, а также методов «омики» позволит глубже проникнуть в механизмы биологической активности многих бактериальных ЛОС.

3. Действие небелковых аминокислот на фотосинтез цианобактерий

Небелковые аминокислоты могут быть биологически активными молекулами. Они синтезируются микроорганизмами и растениями [9]. Небелковые аминокислоты - это природные аминокислоты, которые, как правило, не входят в состав белков. Известно около 400 небелковых аминокислот. Они рассматриваются как модифицированные белковые аминокислоты, полученные в результате удлинения или сокращения углеродной цепи (добавления или удаления CH_2 - или CH -фрагментов); гидрирования и дегидрирования; гидроксирования; аминирования. Небелковые аминокислоты участвуют в образовании белковых аминокислот, служат запасной формой азота и серы. Они являются транспортной формой азота и могут выполнять различные защитные функции (связывать аммиак, который накапливается при расщеплении белков), они служат резервным пулом органического азота в экосистемах [10]. Небелковые аминокислоты играют важную роль в адаптации организмов к окружающей среде. Так, некоторые из этих молекул являются фитосидерофорами [11]. Они могут хелатировать Zn или Fe и увеличивать их поглощение микроорганизмами. Небелковые аминокислоты в микроорганизмах служат строительными блоками для синтеза небольших биоактивных пептидов [12, 13].

В случае нескольких небелковых аминокислот (например, m -тирозина, γ -аминомасляной кислоты (ГАМК), β - N -метиламин- L -аланина (ВМАА)) было показано сильное аллелохимическое воздействие на ранний рост и развитие растений [14-19]. ВМАА влияет на рост цианобактерий [20,21], а также на пигменты и компоненты фотосинтетической цепи переноса электронов в клетках цианобактерий [20, 22-24].

Небелковая аминокислота β - N -метиламин- L -аланин (ВМАА) синтезируется микроводорослями (цианобактериями и диатомовыми водорослями) и накапливается в пищевых цепях, что может привести к развитию нейродегенеративных заболеваний у людей [25-27]. Однако функциональное значение этой аминокислоты в метаболизме самих микроводорослей остается до конца не изученным.

Используя методы протеомики, нам удалось показать, что экзогенный ВМАА в микромолярных количествах изменяет экспрессию многих белков, участвующих в различных метаболических процессах в нитчатой азотфиксирующей цианобактерии *Nostoc* sp. PCC 7120, выращенной в трех различных физиологических условиях [22-24]. Эти условия различались по количеству азота в питательной минеральной среде: (1) diazotрофные условия, когда в среде роста нет источников азота и клетки цианобактерии должны самостоятельно фиксировать атмосферный азот; (2) условия избытка азота (нитрат натрия) в питательной среде; (3) переходные условия, когда клетки отмываются от среды, богатой азотом, и переносятся в среду без азота (условия азотного голодания).

3.1. Действие ВМАА на фотосинтез в клетках цианобактерий, растущих в diazotрофных условиях

В diaзотрофных условиях в присутствии микромолярных количеств ВМАА изменилась экспрессия 19 белков, участвующих в фотосинтезе, и 6 белков, участвующих в окислительном фосфорилировании в клетках *Nostoc* sp. PCC 7120 [24]. Резко снижается количество 18 белков, вовлеченных в процесс фотосинтеза. Среди них идентифицированы белки, входящие в состав комплексов обеих фотосистем (ФС1 и ФС2), комплекса цитохрома b6f, антенных пигментных комплексов. Добавление ВМАА к клеткам цианобактерий приводит к понижающей регуляции двух белков реакционного центра ФС1 (субъединиц IV и XI). Кроме того, ВМАА подавляет четыре белка ФС2 (D1, D2, CP47, PsbO) и пять белков, которые являются компонентами фикобилисомных светособирающих антенн ФС2. Кроме того, снижена представленность четырех ферментов, участвующих в метаболизме порфирина и хлорофилла. Среди белков с пониженной экспрессией были идентифицированы ферредоксин-НАДФ(+) редуктаза (petH) и две субъединицы комплекса цитохрома b6-f (petB и petC). Также снижена экспрессия Н-субъединицы NAD(P)H-хиноноксидоредуктазы и пяти субъединиц АТФ-комплекса [24]. Экспрессия только одного белка была повышена в присутствии ВМАА - цитохрома c6 (*alr4251*). Цитохром (Cyt) c6 переносит электроны между комплексом Cytb6-f и ФС1 в просвете тилакоидов цианобактерий и зеленых водорослей [28]. Этот белок является основным дыхательным и фотосинтетическим донором электронов в гетероцистах *Anabaena* sp. PCC 7120 [29]. Повышенную экспрессию Cyt c6 в присутствии ВМАА можно рассматривать как своего рода компенсаторное событие в дыхательном и фотосинтетическом транспорте электронов, в то время как экспрессия многих других фотосинтетических белков была понижена.

3.2. Действие ВМАА на фотосинтез цианобактерий в условиях азотного голодания

Экспрессия несколько белков, участвующих в фотосинтезе, была изменена (понижена или повышена) в присутствии ВМАА в условиях голодания клеток по азоту, когда клетки переносили из среды, богатой азотом, в безазотистую среду. Среди белков с пониженной регуляцией были основные белки фотосистемы I, некоторые белки пигментных комплексов и пластоцианин (petE). Экспрессия белка PsaA реакционного центра ФС1 (P700 хлорофилл апопротеин A1) была понижена почти в три раза, а экспрессия белка PsaB (P700 хлорофилл апопротеин A2) была снижена почти в четыре раза. Эти два белка кодируются двумя генами, *alr5154* и *alr5155*, которые совместно экспрессируются в геноме цианобактерии (<http://alcoadb.jp/cyano/PCC7120/alr5154/list>). В то же время экспрессия одного белка ФС2 (белок 13 кДа, psbW) и белка petC (субъединица комплекса цитохрома b6-f) была повышена [22]. В случае *Arabidopsis* было показано, что без белка PsbW не могут быть сформированы упорядоченные ряды полукристаллических макромолекул суперкомплексов фотосистемы 2 и светособирающих комплексов (PSII-LHCII). Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности передачи энергии между компонентами ФС2 и к замедлению реакции реагирования ФС2 на легкие стрессы [30].

Добавление экзогенного ВМАА также влияет на метаболизм хлорофилла в клетках цианобактерий. Три идентифицированных в работе фермента, дегидратаза дельта-аминолевулиновой кислоты (EC: 4.2.1.24), глутамил-тРНК-синтетаза (EC: 6.1.1.17) и геранилгеранилгидрогеназа (EC: 1.3.1.111), участвуют в метаболизме хлорофилла. Их экспрессия сильно подавляется в присутствии ВМАА [22]. Таким образом, можно отметить, что экзогенный ВМАА в микромолярных количествах подавляет экспрессию белков, которые участвуют в фиксации азота, усвоении углерода и фотосинтезе, что приводит к сильному голоданию клеток цианобактерий по азоту, углероду и энергии.

3.3. ВМАА только слегка затрагивает экспрессию фотосинтетических белков в условиях избытка азота в среде роста

В условиях избытка азота в среде роста регуляция экспрессии фотосинтетических белков была затронута незначительно в присутствии ВМАА по сравнению с его очень сильным эффектом на регуляцию экспрессии белков фотосистем ФС1 и ФС2 в клетках цианобактерий, испытывающих недостаток азота. В клетках, выращенных в среде с избытком азота, экспрессия пяти белков, участвующих в фотосинтезе, была понижена и

экспрессия двух белков была слегка повышена в присутствии ВМАА [23]. Среди белков с пониженной регуляцией мы обнаружили цитохром *c*-550 (PsbV, *all0259*), субъединицу IV PS1 (*psaE*, *asr4319*), белок фотосистемы 2 CP47 (*psbB*, *all0138*), компонент ядра фикобилисомы *arcF* (*all2327*) и бета-субъединицу АТФ-синтазы F0F1 (*all5039*). Экспрессия двух белков (*srcB* и *srcG4*) была слегка повышена. Был сделан вывод, что после 48 ч обработки ВМАА клетки *Nostoc*, растущие в среде, богатой азотом, начали “чувствовать голод”. Однако это физиологическое состояние клеток цианобактерий нельзя охарактеризовать как хлороз по сравнению с сильным хлорозом, от которого они страдают при обработке ВМАА в условиях азотного голодания [22,24]. Была выдвинута гипотеза о том, что ВМАА может быть использована представителями фитопланктона в различных экосистемах в качестве возможного аллелопатического инструмента для контроля популяции клеток цианобактерий в период интенсивной конкуренции за азот и другие ресурсы [24].

4. Заключение и перспективы

Цианобактерии продуцируют большое количество различных вторичных метаболитов. Многие из них синтезируются в различных стрессовых условиях. Некоторые метаболиты образуются при дефиците питательных веществ в среде роста, и эти соединения подавляют конкурентов в борьбе за ограниченные ресурсы. Вторичные метаболиты цианобактерий могут воздействовать на регуляцию процесса фотосинтеза в клетках микроводорослей. Метаболиты помогают цианобактериям контролировать рост и плотность популяций водорослей.

Это новая область исследований, и мы делаем только первые шаги. Есть еще многочисленные интригующие вопросы, на которые необходимо ответить. Исследователи стремятся понять: (1) механизмы, лежащие в основе регуляции синтеза и восприятия метаболитов клетками; (2) процессы, лежащие в основе устойчивости самих бактерий к высоким концентрациям метаболитов; (3) молекулярные сигналы, которые индуцируют синтез метаболитов в клетках при определенных условиях; (4) молекулярные механизмы, которые запускают и регулируют их внеклеточное высвобождение; (5) подробные молекулярные механизмы воздействия метаболитов на различные фотосинтетические белки, (6) регуляцию взаимодействий между организмами в симбиозах с помощью метаболитов, и многие другие вопросы. Использование различных методов биофизики, геномики и биоинформатики, мутагенеза и клонирования генов, транскриптомики, протеомики и метаболомики обеспечит глубокое понимание механизмов регуляции фотосинтеза вторичными метаболитами в клетках микроводорослей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hartmann T. The Lost Origin of Chemical Ecology in the Late 19th Century / T. Hartmann // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2008. – Vol. 105 4541–4546. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709231105>
2. Lemfack M.C. mVOC 2.0: a Database of Microbial Volatiles / M.C. Lemfack M.C., T. Hartmann, B.O. Gohlke, S.M.T. Toguem, S. Preissner, B. Piechulla, R. Preissner R. // *Nucleic Acids Res* – 2018. – 46(D1):D1261-D1265. doi: 10.1093/nar/gkx1016
3. Merel S. State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins / S. Merel, D.Walker, R. Chicana, S. Snyder, E. Baurès, O. Thomas // *Environment International* – 2013. – 59 – P. 303-327, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.013>
4. Svirčev Z. Global Geographical and Historical Overview of Cyanotoxin Distribution and Cyanobacterial Poisonings / Z. Svirčev, D. Lalić, G. Bojadžija Savić, N. Tokodi et al. // *Archives of Toxicology* – 2019. – doi:10.1007/s00204-019-02524-4
5. Fichtner M. The Tip and Hidden Part of the Iceberg: Proteinogenic and Non-proteinogenic Aliphatic Amino Acids / M. Fichtner, K. Voigt, S. Schuster // *Biochim Biophys Acta Gen Subj* – 2017. – Vol. 1861, (1 Pt A). – P. 3258–3269.

6. Koksharova O.A. Cyanobacterial VOCs as Allelopathic Tools / Ryu CM, Weisskopf L, Piechulla B (eds) *Bacterial Volatile Compounds as Mediators of Airborne Interactions* Springer Singapore; Springer, 2020. – P. 257-280.
7. Popova A.A. Inhibitory and Toxic Effects of Volatiles Emitted by Strains of *Pseudomonas* and *Serratia* on Growth and Survival of Selected Microorganisms, *Caenorhabditis elegans*, and *Drosophila melanogaster* / Popova AA, Koksharova OA, Lipasova VA, Zaitseva JV, Katkova-Zhukotskaya OA, Eremina S I, ... Khmel IA. // *BioMed Research International* –2014. – 2014,1–11. doi:10.1155/2014/125704
8. Voronova E.N. Inhibition of Cyanobacterial Photosynthetic Activity by Natural Ketones / E.N. Voronova, I.V. Konyukhov, O.A. Koksharova, A.A. Popova, S.I. Pogosyan, I.A. Khmel, A.B. Rubin // *Journal of Phycology* – 2019. – doi:10.1111/jpy.12861
9. Vranova V. Non-Protein Amino Acids: Plant, Soil and Ecosystem Interactions / V. Vranova, K. Rejsek, K.R. Skene, P. Formanek // *Plant Soil* – 2011. – Vol. 342. – P. 31-48.
10. Casagrande D.J., Given P.H. Geochemistry of Amino Acids in some Florida Peat Accumulation-II. Amino Acid Distributions / D.J. Casagrande, P.H. Given // *Geochim. Cosmochim. Acta* – 1980. – Vol. 44. – P. 1493-1507.
11. Shenker M. Phytosiderophores Influence on Cadmium Mobilization and Uptake by Wheat and Barley Plants / M. Shenker, T.W.M. Fan, D.E. Crowley // *J Environ Qual* – 2001. –Vol. 30. – P. 2091-2098.
12. Walsh C.T. Nonproteinogenic Amino Acid Building Blocks for Nonribosomal Peptide and Hybrid Polyketide Scaffolds / C.T. Walsh, R.V. O'Brien, C. Khosla // *Angewandte Chemie International Edition* – 2013. – Vol. 52. – P. 7098–7124. doi:10.1002/anie.201208344
13. Nunn P.B. Environmental Distribution of the Neurotoxin l-BMAA in *Paenibacillus* species / P.B. Nunn, G.A. Codd // *Toxicology Research* – 2019. – doi:10.1039/c9tx00203k
14. Brenner E.D. Arabidopsis Mutants Resistant to S(+)-beta-methyl-alpha, beta-Diaminopropionic Acid, a Cycad-derived Glutamate Receptor Agonist / E.D. Brenner, N. Martinez-Barboza, A.P. Clark, Q.S. Liang, D.W. Stevenson, G.M. Coruzzi // *Plant Physiol.* – 2000. – Vol. 124 – P. 1615-1624. doi: 10.1104/pp.124.4.1615
15. Brenner E.D. A mutation in the Proteosomal Regulatory Particle AAA-ATPase-3 in Arabidopsis impairs the light-specific hypocotyl elongation response elicited by a glutamate receptor agonist, BMAA / E.D. Brenner, P. Feinberg, S. Runko et al // *Plant Mol Biol* – 2009. – Vol. 70 – P.523–533. <https://doi.org/10.1007/s11103-009-9489-7>
16. Zer H. The Phytotoxicity of Meta-Tyrosine Is Associated With Altered Phenylalanine Metabolism and Misincorporation of This Non-Proteinogenic Phe-Analog to the Plant's Proteome / H. Zer, H. Mizrahi, N. Malchenko, T. Avin-Wittenberg, L. Klipcan, O. Ostersetzer-Biran // *Front Plant Sci* – 2020. – Vol.11 – P.140. doi: 10.3389/fpls.2020.00140
17. Jander G. Editorial: Physiological Aspects of Non-proteinogenic Amino Acids in Plants / G. Jander, U. Kolukisaoglu, M. Stahl and G.M. Yoon // *Front. Plant Sci.* – 2020. – Vol. 11– P. 519464. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.519464>
18. Li L. The Versatile GABA in Plants / L. Li, N. Dou, H. Zhang, C. Wu // *Plant Signal Behav* – 2021– Vol.16 – P. 1862565. doi: 10.1080/15592324.2020.1862565
19. Balfagón D. γ -Aminobutyric Acid Plays a Key Role in Plant Acclimation to a Combination of High Light and Heat Stress / D. Balfagón, A. Gómez-Cadenas, J.L. Rambla, A. Granell, C. de Ollas, D.C. Bassham, R. Mittler, S.I. Zandalinas // *Plant Physiol.* – 2022– <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac010>
20. Downing T.G. A Potential Physiological Role for Cyanotoxins in Cyanobacteria of Arid Environments / T.G. Downing, R.R. Phelan, S. Downing // *Journal of Arid Environments.* 2015 – Vol. 112 – P.147-151 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.02.005>
21. Downing S. The metabolism of the non proteinogenic amino acid β -N-methylamino-L-alanine (BMAA) in the cyanobacterium *Synechocystis* PCC 6803 / S. Downing, T.G. Downing // *Toxicon* – 2016 – Vol. 115 – P. 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2016.03.005>.

22. Koksharova O.A. The first proteomic study of Nostoc sp. PCC 7120 exposed to cyanotoxin BMAA under nitrogen starvation / O.A. Koksharova, I.O. Butenko, O.V. Pobeguts, N.A. Safronova, V.M. Govorun // *Toxins* – 2020– Vol.12, 310, doi: 10.3390/toxins12050310.
23. Koksharova O.A. Proteomic Insights into Starvation of Nitrogen-Replete Cells of Nostoc sp. PCC7120 under BMAA Treatment / O.A. Koksharova, I.O. Butenko, O.V. Pobeguts, N.A. Safronova, V.M. Govorun // *Toxins* – 2020– Vol.12, 372, <https://doi.org/10.3390/toxins12060372>
24. Koksharova O.A. β -N-Methylamino-L-Alanine (BMAA) Causes Severe Stress in Nostoc sp. PCC 7120 Cells under Diazotrophic Conditions: A Proteomic Study/ O.A. Koksharova, I.O. Butenko, O.V. Pobeguts, N.A. Safronova, V.M. Govorun // *Toxins* – 2021 – Vol. 13, 325. <https://doi.org/10.3390/toxins13050325>
25. Lobner D. β -N-Methylamino-L-Alanine Enhances Neurotoxicity through Multiple Mechanisms / D. Lobner, P.M.T. Piana, A.K. Salous, R.W. Peoples // *Neurobiology of Disease* – 2007 – Vol.25 – P.360-366. <https://doi:10.1016/j.nbd.2006.10.002>
26. Popova A.A. Neurotoxic Non-Proteinogenic Amino Acid β -N-Methylamino-L-Alanine and its Role in Biological Systems/ A.A. Popova, O.A. Koksharova // *Biochemistry* – 2016– Vol. 81 – P. 794-805, doi:10.1134/S0006297916080022
27. Nunn P.B. 50 years of Research on α -Amino- β -Methylaminopropionic Acid (β -Methylaminoalanine) / P.B. Nunn // *Phytochemistry* – 2017 – Vol. 144. – P. 271–281. doi: 10.1016/j.phytochem.2017.10.002
28. Reyes-Sosa F.M. Cytochrome c 6-like Protein as a Putative Donor of Electrons to Photosystem I in the Cyanobacterium Nostoc sp. PCC 7119 / F.M. Reyes-Sosa, J. Gil-Martínez, F.P. Molina-Heredia // *Photosynth Res* – 2011 – Vol. 110 – P.61–72.
29. Torrado A. Cytochrome c6 is the Main Respiratory and Photosynthetic Soluble Electron Donor in Heterocysts of the Cyanobacterium Anabaena sp. PCC 7120 / A. Torrado, C. Ramírez-Moncayo, J.A. Navarro, V. Mariscal, F.P. Molina-Heredia // *Biochim Biophys Acta BBA Bioenergy* – 2019 – Vol. 1860 – P. 60–68.
30. García-Cerdán J.G. The PsbW Protein Stabilizes the Supramolecular Organization of PS II in Higher Plants / J.G. García-Cerdán, L. Kovács, T. Tóth et al. // *The Plant Journal* – 2010 – Vol. 65 – P. 368–381. <https://doi:10.1111/j.1365-313x.2010.04429.x>

Информация об авторе

O.A. Кокшарова - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the author

O.A. Koksharova – grand PhD (Biology), Leading Researcher.

Светлана Евгеньевна Мазина^{1,2,3}, Екатерина Витальевна Козлова³, Беандруна Родлиш Суандзара³, Элид Ульрих Бенитсиафантука³, Антон Сергеевич Федоров³, Александр Валерьевич Северин⁴, Александр Львович Николаев⁴, Алексей Владимирович Саранцев⁴

¹ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

²Российский государственный аграрный заочный университет, Москва, Россия

³Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

⁴Московский государственный университета имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

^{1,2,3} conophytum@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0108-5339>

³ kozlova-ev@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4325-6930>

³ 1042195039@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3628-9099>

³ 1042195034@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9712-846X>

³ ant.fedorov94@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9248-4502>

⁴ severin@radio.chem.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4326-4327>

⁴ nicmsu@gmail.com

⁴ alexfm283@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1824-1876>

Автор, ответственный за переписку: Светлана Евгеньевна Мазина, conophytum@mail.ru

ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОЕ СООБЩЕСТВО КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

Аннотация. В статье рассматривается эффект раздельного воздействия альфа и гамма-излучения на цианобактерии. Культивирование сообщества проводили в жидкой среде в присутствии ²²⁶Ra и при внешнем гамма воздействии излучением источника ¹³⁷Cs. В качестве отклика на воздействие фиксировали изменение объема цианобактерий. В результате выявлена низкая чувствительность чистых культур цианобактерий к действию исследованных доз радиации. В сообществе обнаружены более выраженные изменения, которые можно связывать с наличием конкурентных межвидовых взаимоотношений. Сделан вывод, что структура сообщества цианобактерий может быть индикатором радиационного воздействия.

Ключевые слова: Радиация, цианобактерии, альфа-излучение, ²²⁶Ra, гамма-излучение.

Mazina Svetlana E.^{1,2,3}, Kozlova Ekaterina V.¹, Soanjara Beandrona Rodlish, Benitsiafantoka Elide Ulrich, Fedorov Anton S., Severin Alexander V., Nikolaev Alexander L., Sarantsev Alexey V.

^{1,2,3} conophytum@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0108-5339>

³ kozlova-ev@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4325-6930>

³ 1042195039@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3628-9099>

³ 1042195034@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9712-846X>

³ ant.fedorov94@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9248-4502>

⁴ severin@radio.chem.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4326-4327>

⁴ nicmsu@gmail.com

⁴ alexfm283@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1824-1876>

¹ *Research and technical center of radiation-chemical safety and hygiene FMBA of Russian Federation*

² *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Agrarian Correspondence University*

³ *Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)*

⁴ *Lomonosov Moscow State University*

Corresponding author: Mazina Svetlana E., conophytum@mail.ru

CYANOBACTERIAL COMMUNITY AS AN OBJECT OF EXAMINATION OF THE IMPACT OF RADIATION

Abstract. The article discusses the effect of separate exposure to alpha and gamma radiation on cyanobacteria. The cultivation of the community was carried out in a liquid medium in the presence of ²²⁶Ra and under external gamma radiation from a ¹³⁷Cs source. As a response to exposure, a change in the volume of cyanobacteria was recorded. As a result, the low sensitivity of pure cultures of cyanobacteria to the action of the studied doses of radiation was revealed. More pronounced changes were found in the community, which can be associated with the presence of competitive interspecific relationships. It is concluded that the structure of the cyanobacteria community can be an indicator of radiation exposure.

Key words: radiation, cyanobacteria, alpha radiation, ²²⁶Ra, gamma radiation.

Актуальность исследования. Исследования в области действия радиации на биоту проводятся достаточно давно. Были выявлены основные механизмы биологического действия, генетические эффекты облучения, структурные и функциональные изменения клеток и тканей, определены уровни воздействия вызывающие летальные эффекты. Радиационное воздействие относится к экологически значимой нагрузке и может быть как природного, так и антропогенного происхождения и таким образом является предметом биоиндикации. В основном исследования по биоиндикации и биотестированию сосредоточены на выявлении видов, характеризующих изменения системы или тест-объектов для установления токсичности среды.

В природе можно обнаружить устойчивые сообщества, которые также могут использоваться для целей биоиндикации и биотестирования, причем с их помощью можно наблюдать эмерджентные свойства, то есть рассматривать как реакции отдельных видов, так и сообщества в целом, фиксируя различия в этих реакциях. Такими сообществами могут быть цианобактериальные сообщества, в первую очередь биопленки и обрастания (литофильные, литобионтные сообщества).

Использование для исследований сообществ обрастаний сопряжено со сложностями понимания ответных реакций таких сообществ на уровень и длительность воздействия, а также с необходимостью разработки методических подходов, которые приходится использовать при работе с микрообъектами.

Целью данного исследования было определить реакцию цианобактерий на воздействие альфа- и гамма-радиации на уровне отдельных видов и сообщества в целом и сравнить эти реакции.

Объекты и методы исследования. Для исследования было выбрано цианобактериальное сообщество из Воронцовской пещеры, расположенной в Краснодарском Крае, Сочинский национальный парк.

Сообщество было выделена из образцов обрастаний со сводов пещеры в местах с сильным увлажнением в фотической входной зоне полости. Культивирование цианобактерий проводили в жидкой среде Бритоль. Состав среды Бритоль (в модификации Голлербаха) (г/л): NaNO₃ – 0,25; KH₂PO₄ – 0,25; MgSO₄ × 7H₂O – 0,15; CaCl₂ – 0,05; NaCl – 0,05; Fe₂Cl₆ –

следы (3 капли 1%-го р-ра). Цианобактерии культивировали в условиях 25°C, при освещенности 30-40 $\mu\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Сообщество состояло из трех видов: *Leptolyngbya angustisima* (West & GSWest) Anagnostidis & Komárek, *Leptolyngbya foveolarum* (Gomont) Anagnostidis & Komárek и *Microcystis pulverea* (HCWood) Forti, которые были идентифицированы по определителю [1], названия видов указаны по Гюри и Гюри [2].

Оценивали изменение структуры сообщества при культивировании в присутствии ^{226}Ra . В пробирки со средой объемом 50 мл и радиоактивным веществом ($^{226}\text{RaCl}_2$) с активностью 10 кБк помещали культуру объемом 5 мл. Оценочная доза, полученная цианобактериями, через 4 недели составляла 0,37 Гр, а через 8 недель 0,74 Гр.

Воздействие ионизирующим излучением проводили на установке γ -400 с источником ^{137}Cs , мощность дозы – 2,3 Гр/мин. Облучали культуры цианобактерий в объеме 10-30 мл при комнатной температуре. Дозы составляли 40 и 300 Гр. Результат оценивали через сутки и через 7 дней после облучения и вычисляли среднее из полученных измерений.

Оценивали количественные показатели разных видов по сравнению с контролем, а также изменение соотношения объема разных видов, для этого из пробирок отбирали аликвоты (200 мкл), в которых определяли объем разных видов с применением световой микроскопии. Используя программу Image Pro вычисляли площадь, занятый каждым видом. На фотографиях определяли площадь трихомов и клеток цианобактерий, измеряли радиус и диаметр и вычисляли объем. Для чистых культур определяли отношение объема опыт/контроль в процентах. Для сообщества приводили процент от суммы объемов всех видов. Контрольными являлись сообщества и чистые культуры в среде Бристоль в соответствующий день от начала эксперимента. Эксперимент проводили в тройной повторности. Определяли среднее значение и стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. В процессе культивирования цианобактерий в водной среде выявлено изменение структуры сообщества (табл. 1). По сравнению с сообществом, развивающимся в пещере (исходное сообщество), при культивировании произошло снижение объема вида-доминанта *Leptolyngbya foveolarum* и увеличение объемов других видов. Такой показатель как объем цианобактерий наиболее близок к показателю биомассы и отражает соотношение видов, которое является показателем не только напряженности конкурентных отношений в сообществе, но и благоприятности условий среды. Изменение соотношения видов при культивировании сообщества в лабораторных условиях необходимо учитывать при интерпретации результатов.

Обнаружено изменение структуры сообщества при добавлении в среду ^{226}Ra , которое выражалось в снижении доли доминирующего вида и повышении объемов двух других видов. Введение ^{226}Ra не приводило к накопительному эффекту воздействия при исследованных дозах, поскольку структура сообщества при 0,37 Гр и 0,74 Гр была в пределах ошибки (табл. 1).

Таблица 1. Изменения в сообществе при культивировании в присутствии ^{226}Ra .

Вид	Объем вида в культуре (сообществе), %				
	Исходное сообщество (в природе)	Среда Бристоль		^{226}Ra	
		2 недели	8 недель	0,37 Гр (4 недели)	0,74 Гр (8 недель)
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>	96,14±2,9	73,53±1,3	67,57±2,4	50,98±1,6	52,94±1,3
<i>Leptolyngbya angustisima</i>	3,85±0,6	23,53±4,8	21,62±4,6	30,39±5,4	30,39±5,2
<i>Microcystis pulverea</i>	0,02±0,01	2,94±0,4	10,81±0,7	18,63±1,2	16,67±1,1

Воздействие ^{226}Ra на чистые культуры незначительно снижало развитие цианобактерий, что указывает на устойчивость видов к альфа-радиации при исследованных дозах (табл. 2).

Таблица 2. Изменения объема цианобактерий в чистых культурах при культивировании в присутствии ^{226}Ra .

Вид	Чистые культуры, соотношение объема цианобактерий опыт/контроль, %	
	0,37 Гр (4 недели)	0,74 Гр (8 недель)
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>	92±2	84±4
<i>Leptolyngbya angustisima</i>	98±4	92±3
<i>Microcystis pulverea</i>	96±2	87±4

Воздействие гамма-излучения на сообщество выявило сходные эффекты с наблюдаемыми при воздействии ^{226}Ra , а именно – изменение структуры сообщества и устойчивость видов к радиационному воздействию (табл. 3). Можно предположить, что отсутствие выраженных эффектов радиационного воздействия на чистые культуры цианобактерий может указывать либо на сформированную в процессе эволюции устойчивость к воздействию радиации на уровне вида, либо на то, что цианобактерии в данном местообитании периодически или постоянно подвергаются радиационному воздействию, что привело к формированию устойчивости на уровне популяции. Это предположение требует дальнейшей проверки.

Таблица 3. Изменения в сообществе и в чистых культурах после воздействия гамма-излучения.

Вид	Объем вида в культуре, %		Чистые культуры, соотношение объема цианобактерий опыт/контроль, %	
	40 Гр	300 Гр	40 Гр	300 Гр
<i>Leptolyngbya foveolarum</i>	47,54±5,7	40,6±4,2	99±1	88±5
<i>Leptolyngbya angustisima</i>	32,79±3,5	31,58±4,2	97±2	82±4
<i>Microcystis pulverea</i>	19,67±1,4	27,82±2,7	98±2	87±6

Изменение структуры сообщества является простым и удобным признаком для разработки методов биоиндикации радиационного воздействия. Дальнейшее направление исследований планируется проводить в направлении установления диапазона устойчивости изученных видов цианобактерий к радиационному воздействию, а также установлению вариативности структуры сообщества в естественных местообитаниях. Таким образом можно отметить, что существует возможность использования исследованного сообщества цианобактерий в качестве индикатора радиационного воздействия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голлербах, М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР [Текст] / М.М. Голлербах, Е.К. Косинская, В.И. Полянский; ред. М.М. Голлербах, В.И. Полянский, В.П. Савич. – Москва: Советская наука, 1953. – Выпуск 2. Синезеленые водоросли. – 650 с.
2. Guiry M.D. and Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. - 2021. www.algaebase.org; searched on 7 September 2021.

REFERENCES

1. Gollerbax, M.M. Opredelitel` presnovodny`x vodoroslej SSSR [Tekst] / M.M. Gollerbax, E.K. Kosinskaya, V.I. Polyanskij; red. M.M. Gollerbax, V.I. Polyanskij, V.P. Savich. – Moskva: Sovetskaya nauka, 1953. – Vy`pusk 2. Sinezeleny`e vodorosli. – 650 s.
2. Guiry M.D. and Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. - 2021. www.algaebase.org: searched on 7 September 2021.

Информация об авторах

С.Е. Мазина – канд. биол. наук, с.н.с., доцент;
Е.В. Козлова – канд. биол. наук, м.н.с.;
Б.Р. Суандзара – аспирант;
Э.У. Бенитсиафантука Элид Ульрих – аспирант;
А.С. Федоров – аспирант;
*А.В.Северин Александр Валерьевич*⁴, канд. хим. наук, доцент;
*А.Л. Николаев Александр Львович*⁴, канд. хим. наук, в.н.с.;
А.В.Саранцев, аспирант.

Information about the authors

Svetlana E. Mazina^{1,2,3} – cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Associate Professor;
*Ekaterina V. Kozlova*¹ – cand. Sci. (Biology), Junior researcher;
Beandrona Rodlish Soanjara – post-graduate student;
Elide Ulrich Benitsiafantoka – post-graduate student;
Anton S. Fedorov – post-graduate student;
Alexander V. Severin – cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor;
Alexander L. Nikolaev – cand. Sci. (Chemistry), Leading Researcher;
Alexey V. Sarantsev – post-graduate student.

Евгений Иванович Мальцев¹, Зинаида Викторовна Кривова², Светлана Юрьевна Мальцева³, Елена Михайловна Кезля⁴, Максим Сергеевич Куликовский⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} *Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.*

¹ *maltsev.ye@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4710-319X>*

² *kosiapeya@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9928-4810>*

³ *svetadm32@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6060-3968>*

⁴ *melosira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>*

⁵ *max-kulikovsky@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5595-1039>*

Автор, ответственный за переписку: Евгений Иванович Мальцев, maltsev.ye@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ НОВОГО ШТАММА *Aliinostoc* (NOSTOCALES)

Аннотация. Новый штамм цианобактерий из рода *Aliinostoc* выделен из почвы тропического леса, расположенного на территории Национального парка Кат Тьен (Южный Вьетнам). Штамм идентифицирован на основании морфологических характеристик и филогенетического анализа с использованием гена 16S рДНК. Установлены особенности изменения состава жирных кислот при переходе от экспоненциальной к стационарной фазе роста культуры нового штамма. Анализ показал, что доминантными были 16:0 пальмитиновая, 18:0 стеариновая и 18:3 α -линоленовая жирные кислоты. При этом стационарная фаза роста характеризовалась увеличением содержания насыщенных жирных кислот и уменьшением полиненасыщенных.

Ключевые слова: *Aliinostoc*, жирные кислоты, стационарная фаза, цианобактерии, экспоненциальная фаза

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-10076).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Yevhen Ivanovich Maltsev¹, Zinaida Viktorovna Krivova², Svetlana Yurievna Maltseva³, Elena Mikhailovna Kezlya⁴, Maxim Sergeevich Kulikovskiy⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} *К.А. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia.*

¹ *maltsev.ye@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4710-319X>*

² *kosiapeya@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9928-4810>*

³ *svetadm32@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6060-3968>*

⁴ *melosira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5263-9338>*

⁵ *max-kulikovsky@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5595-1039>*

Corresponding author: Yevhen Ivanovich Maltsev, maltsev.ye@yandex.ru

FATTY ACIDS COMPOSITION OF A NEW STRAIN *Aliinostoc* (Nostocales)

Abstract. A new strain of cyanobacteria from the genus *Aliinostoc* was isolated from the soil of a tropical forest located on the territory of the Cát Tiên National Park (South Vietnam). The strain was identified based on morphological characteristics and phylogenetic analysis using the

16S rRNA gene. The features of the change in the composition of fatty acids during the transition from the exponential to the stationary phase of growth of the culture of the new strain were established. The analysis showed that 16:0 palmitic, 18:0 stearic and 18:3 α -linolenic fatty acids were dominant. At the same time, the stationary phase of growth was characterized by an increase in the content of saturated fatty acids and a decrease in polyunsaturated fatty acids.

Keywords: Aliinostoc, fatty acids, stationary phase, cyanobacteria, exponential phase

For citation: Maltsev Y. I., Krivova Z. V., Maltseva S. Yu., Kezlya E. M., Kulikovskiy M. S. Fatty acids composition of a new strain Aliinostoc (Nostocales) // Bulletin BSPU named after M. Akmullah. 2022; *(*):*_*. (In Russ.).

Acknowledgements: This publication was obtained with financial support by Russian Science Foundation (project number 20-74-10076)

Author contributions: All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare no conflict of interest

Весьма ценной с точки зрения удовлетворения растущего спроса на продукты питания и сырье для производства биотоплива является способность цианобактерий накапливать липиды. Широкий спектр липидов, с учетом видового разнообразия самих цианобактерий, представляет уникальный по составу липидного и жирнокислотного профиля природный ресурс. Известно, что цианобактерии являются ценным источником жирных кислот [7]. У них отмечены относительно редкие жирные кислоты с нечетным количеством атомов углерода, разветвленные, гидроксильированные, метилированные др. [3, 7]. У ряда штаммов *Nostoc* отмечены anteiso-14:0 и anteiso-16:0 жирные кислоты в количестве 2,2–2,6% [5]. Примечательно, что особенности спектра жирных кислот может использоваться в качестве хемотаксономического маркера для цианобактерий. Например, показано, что насыщенная миристиновая C14 кислота отсутствует у нетоксичных штаммов *Anabaena* и *Nostoc*, в то время как у гепатотоксичных встречалась в количестве 5–7% и 3,1–4,0% [5]. Данные аспекты актуализируют исследования, направленные на изучение состава жирных кислот у разных групп цианобактерий.

Во время изучения разнообразия микроводорослей в тропических почвах Национального парка Кат Тьен (Южный Вьетнам), был выделен штамм гетероцитных цианобактерий из почвы модельной площадки «Фикус», которая была заложена сотрудниками Лаборатории наземной и прикладной экологии Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра при ИПЭЭ РАН для комплексного изучения экосистемы тропического леса [1].

Штамм *Aliinostoc* sp. VP225 выделен микропипетированием отдельных гормогоний из почвенной культуры в чашке Петри с использованием инвертированного микроскопа Zeiss Scope A1. Штамм культивировали в жидкой среде Z8 [4] на осветительной установке с постоянным освещением 70 мкмоль фотонов/м²×с. Культура анализировалась во время экспоненциальной (на 15 день культивирования) и стационарной (25 день) фаз роста. Время наступления определенной фазы роста определяли ежедневным измерением оптической плотности культуры с помощью спектрофотометра IMPLEN P300. Изучение морфологии клеток проводили на микроскопе Zeiss Axiovert, оснащенного масляным иммерсионным объективом (x100/n.a. 1.4, DIC). ДНК штамма VP225 экстрагировали набором InstaGeneTM Matrix в соответствии с протоколом производителя. Амплификацию участка гена 16S рДНК осуществляли согласно методике, описанной в работе Maltsev с соавторами [6]. Состав жирных кислот в липидном экстракте определяли на газо-жидкостном хроматографе Agilent 7890A (Agilent Technologies, США) с масс-спектрометрическим детектором Agilent 5975C.

Анализ морфологических особенностей нового штамма показал его тесную связь с видами Nostocaceae. Общие черты включали способность образовывать слизистые колонии, наличие специализированных клеток (гетероцист и акинет). Размножение подвижными гормогониями, содержащими газодиффузионные включения, соответствовало описанию рода *Aliinostoc* [2]. Филогенетический анализ методами максимального правдоподобия и байесовского

подхода с использованием гена 16S рДНК показал, что штамм *Aliinostoc* sp. VP225 тесно связан с другими видами *Aliinostoc*: *A. catenatum*, *A. magnakinatifex* и *A. morphoplasticum*.

Анализ жирнокислотного состава исследованного штамма *Aliinostoc* sp. VP225 во время экспоненциальной фазы роста показал, что в составе суммарных липидов клеток главными жирными кислотами были 18:3 α -линоленовая (37,75 \pm 0,71% от общего содержания жирных кислот), 16:1 пальмитолеиновая (16,68 \pm 0,45%) и 16:0 пальмитиновая (13,87 \pm 0,34%) кислоты. Продление времени культивирования до выхода культуры на стационарную фазу роста способствовало увеличению содержания 16:0 пальмитиновой (22,65 \pm 0,64%) и 18:0 стеариновой (20,27 \pm 0,59%) кислот, а содержание 18:3 α -линоленовой кислоты уменьшилось почти в 1,4 раза.

Наибольшее содержание мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (20,95% и 52,03% от общего содержания жирных кислот в биомассе) наблюдалось на 15-й день культивирования. Более длительное культивирование обогатило биомассу *Aliinostoc* sp. VP225 насыщенными жирными кислотами (46,97%). Наибольшее содержание биотехнологически-ценных омега-3 жирных кислот (37,75%) наблюдалось во время экспоненциального роста.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тиунов А. В. Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (национальный парк Кат Тьен, Южный Вьетнам). Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 277 с.

2. Bagchi S. N., Dubey N., Singh P. Phylogenetically distant clade of *Nostoc*-like taxa with the description of *Aliinostoc* gen. nov. and *Aliinostoc morphoplasticum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67:3329–3338.

3. Berge J. P., Barnathan G. Fatty acids from lipids of marine organisms: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds, and economical aspects. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 2005;96:49–125.

4. Kotai J. Instructions for preparation of modified nutrient solution Z8 for algae. Oslo: Norwegian Institute for Water Research, Blindern, 1972. P. 155–164.

5. Gugger M., Lyra C., Suominen I., Tsitko I., Humbert J. F., Salkinoja-Salonen M. S., Sivonen K. Cellular fatty acids as chemotaxonomic markers of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* and *Planktothrix* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2002;52:1007–1015.

6. Maltsev Y., Kezlya E., Maltseva S., Karthick B., Dvořák P., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. A new species of the previously monotypic genus *Iningainema* (Cyanobacteria, Scytonemataceae) from the Western Ghats, India. *European Journal of Phycology*. 2021;56:348–358.

7. Maltsev Y., Maltseva K. Fatty acids of microalgae: diversity and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2021;20:515–547.

REFERENCES

1. Tiunov A. V. Struktura i funkcii pochvennogo naseleniya tropicheskogo mussonnogo lesa (nacional`ny`j park Kat T`en, Yuzhny`j V`etnam). Moskva: Tovarishhestvo nauchny`x izdanij KMK, 2011. 277 s.

2. Bagchi S. N., Dubey N., Singh P. Phylogenetically distant clade of *Nostoc*-like taxa with the description of *Aliinostoc* gen. nov. and *Aliinostoc morphoplasticum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67:3329–3338.

3. Berge J. P., Barnathan G. Fatty acids from lipids of marine organisms: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds, and economical aspects. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 2005;96:49–125.

4. Kotai J. Instructions for preparation of modified nutrient solution Z8 for algae. Oslo: Norwegian Institute for Water Research, Blindern, 1972. P. 155–164.

5. Gugger M., Lyra C., Suominen I., Tsitko I., Humbert J. F., Salkinoja-Salonen M. S., Sivonen K. Cellular fatty acids as chemotaxonomic markers of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* and *Planktothrix* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2002:52:1007–1015.

6. Maltsev Y., Kezlya E., Maltseva S., Karthick B., Dvořák P., Kociolek J. P., Kulikovskiy M. A new species of the previously monotypic genus *Iningainema* (Cyanobacteria, Scytonemataceae) from the Western Ghats, India. *European Journal of Phycology*. 2021:56:348–358.

7. Maltsev Y., Maltseva K. Fatty acids of microalgae: diversity and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2021:20:515–547.

Информация об авторах

Е.И. Мальцев – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

З.В. Кривова – аспирант, младший научный сотрудник

С.Ю. Мальцева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Е.М. Кезля – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

М.С. Куликовский – доктор биологических наук, главный научный сотрудник

Information about the authors

Y.I. Maltsev – Doctor of philosophy, assistant professor, leading researcher

Z.V. Krivova – Doctor of philosophy student, junior researcher

S.Yu. Maltseva – Doctor of philosophy, senior researcher

E.M. Kezlya – Doctor of philosophy, senior researcher

M.S. Kulikovskiy – Doctor of philosophy, Doctor of Science (Biology), chief researcher

УДК 582.232(574.586):262.5

*Екатерина Сергеевна Мирошниченко*¹, *Анастасия Андреевна Благинина*²

^{1, 2} *Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

¹*mircyano@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7985-9747>*

²*aablagini@ibss-ras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7115-4427>*

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Сергеевна Мирошниченко, mircyano@gmail.com

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПЕРИФИТОНА МАКРОПЛАСТИКА КАРАНТИННОЙ БУХТЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

Аннотация. В статье представлены результаты изучения видового состава и количественных характеристик сообществ цианобактерий перифитона пластиков типов PET; HDPE; LDPE; PS; PLA и PVC в Карантинной бухте Черного моря с августа по декабрь 2020 г. Всего обнаружено 28 видов цианобактерий, из них 6 видов с встречаемостью в пробах более 70%. Максимумы и минимумы общей численности клеток и биомассы цианобактерий не совпадали по периодам и субстратам. Выявлена низкая специфичность к типу пластика у сообществ цианобактерий, увеличение их видового разнообразия, сходства на разных типах субстратов и количественных характеристик с увеличением времени экспозиции в море, а также преобладание морских бентосных видов, образующих биопленки с признаками естественного обрастания.

Ключевые слова: цианобактерии, видовой состав, численность, биомасса, перифитон, пластик, Черное море

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ РАН № 121030300149-0.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Ekaterina S. Miroshnichenko*¹; *Anastasia A. Blaginina*²

^{1, 2} *A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia.*

¹*mircyano@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7985-9747>*

²*aablagini@ibss-ras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7115-4427>*

Corresponding author: Ekaterina S. Miroshnichenko, mircyano@gmail.com

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF CYANOBACTERIAL COMMUNITIES IN MACROPLASTIC PERIPHYTON IN THE KARANTINNAYA BAY OF THE BLACK SEA

Abstract. The article presents the results of a study of species composition and quantitative characteristics of cyanobacterial communities in periphyton of the plastics (PET; HDPE; LDPE; PS; PLA, PVC) in the Karantinnaya Bay of the Black Sea from August to December of 2020 year. There were found the 28 species of Cyanobacteria, of which six species with an occurrence in samples of more than 70%. The maximum and minimum cell counts and biomass of cyanobacteria did not coincide in terms of periods and substrates. Cyanobacterial communities showed a low specificity to the type of plastic. Quantitative characteristics, species diversity, and similarity of communities on different types of plastics increased with increasing exposure time in the sea. Marine benthic species dominated on plastics, finally forming communities with features of natural biofilms.

Keywords: Cyanobacteria, species composition, total count, biomass, periphyton, plastics, the Black Sea

Acknowledgments: the work was of the Government research assignment of IBSS No 121030300149-0.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests

Загрязнение Мирового океана пластиком занимает большое место в экологических исследованиях, так как антропогенные материалы, не характерные для природной среды, несут негативные последствия для различных отраслей хозяйственной деятельности человека [1; 2; 3; 4] и представляет не только угрозу жизни гидробионтов и здоровью населения, но и функционированию экосистемы в целом [2; 5]. Фрагменты пластика разного размера в море становятся частью среды обитания и дополнительными субстратами для их колонизации микроорганизмами, значительное место среди которых занимают цианобактерии (ЦБ) [1; 6; 7; 8; 9; 10].

Однако, до сих пор катастрофически мало сведений о составе и количественной структуре сообществ ЦБ на макропластике в Черном море. Поэтому целью работы явился поиск основных закономерностей формирования видового разнообразия и количественного распределения ЦБ на разных типах пластика в природных условиях Черного моря.

Материалы и методы. В данной работе изучено микрообрастание на различных видах пластика в полузакрытой части Карантинной бухты крымского побережья Черного моря (44°36'56.8"N 33°30'12.6"E) с конца августа по начало декабря 2020 г. Экспериментальный коллектор собственной разработки [9] с тремя наборами пластиковых образцов был погружен на глубину от 1,5 до 3 м на три периода – 48 дней (21 августа – 07 октября), 84 дня (21 августа – 12 ноября) и 111 дней (21 августа – 9 декабря).

Образцы полимерных материалов относились к наиболее распространённым типам морского пластикового мусора: 1 – HDPE, полиэтилен высокого давления (прозрачный пакет), 2 – PS, полистирол (прозрачная упаковка для йогурта), 3 – PLA, полилактид (пластик для 3д ручки), 4 – PP, полипропилен (стакан одноразовый), 5 – PS, полистирол (ложка одноразовая непрозрачная), 6 – PVC, поливинилхлорид (материал для навесов), 7 – LDPE, полиэтилен низкого давления (мешок для мусора), 8 – HDPE, полиэтилен высокого давления (непрозрачная упаковка для шампуня), 9 – PETbio полиэтилентерефталат с биодобавками (биоразлагаемый пакет), 10 – HDPE полиэтилен высокого давления (прозрачный пакет), 11 – PET полиэтилентерефталат (пластиковая бутылка). Предметные стекла использовались в качестве контрольного субстрата (12). Всего собрано 36 проб.

Перифитон каждого из образцов собирали в отмеренный объем фильтрованной морской воды, готовили нативные препараты и микроскопировали. Параллельно с изъятием субстратов по стандартным методикам измеряли температуру, соленость, pH воды, основные гидрохимические показатели: растворенный кислород, концентрации азота и фосфора [11].

Идентификацию цианобактерий и их экологическую характеристику давали в соответствии с литературными источниками и базами данных [12; 13; 14; 15]. Встречаемость вида (P, %) определяли по отношению числа проб, в которых вид был обнаружен, к общему числу проб [16]. Видовое сходство сообществ определяли с помощью коэффициента (Ks, %) [17]. Количественный учет клеток цианобактерий проводили в счетной камере Горяева с дальнейшим пересчетом численности в число клеток на см² и биомассы в мкг/см² по [18]. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. В течение всего периода экспозиции (111 суток) закономерно снижалась температура воды с 24°C в августе до 12° С в декабре, также уменьшились концентрации общего азота и фосфора (N общ – от 1045,5 до 408,1 мкг/л; P общ – от 24,7 до 15,3 мкг/л) и увеличился растворенный кислород (от 6,45 до 8,14 мг/л). Соленость воды колебалась в пределах 18,2 до 18,4 ‰, pH – 8,2 – 8,4.

Всего на 11 образцах пластиков за весь период исследования обнаружено 28 видов цианобактерий. Среди них были 6 видов с высокой встречаемостью в пробах ($P > 70\%$) на протяжении всех трех периодов экспозиции (*Arthrospira miniata*; *Komvophoron breve*; *Oscillatoria bonnemaisonii*; *Potamolinea aerugineocaerulea*; *Pseudanabaena minima*; *Spirulina subsalsa*). *S. subsalsa* имела 100% встречаемость во все периоды исследования. Наибольшее число (11) видов ЦБ принадлежали родам *Lyngbya*, *Oscillatoria* и *Phormidium* из семейства Oscillatoriaceae. Данные виды были бентосными, обитающими каменистых побережьях морских и солоноватых водоемов [14; 19; 20].

С увеличением экспозиции видовое разнообразие ЦБ менялось и возрастало: после 48 дней экспозиции найдено 16 видов, после 84 дней – 20 видов, 111 дней – 24 вида. Коэффициенты сходства сообщества цианобактерий пластисферы трех периодов экспозиции были высокими, но имели тенденцию к снижению: K_s между 1 и 2 периодами = 83%, K_s между 2 и 3 периодами = 77%, K_s между 1 и 3 периодами = 70 %.

На контрольном стекле всего найдено 19 видов цианобактерий, 10 видов после 48 дней экспозиции, 9 – после 84 дней и 12 после 111 дней. Распределение цианобактерий на экспериментальных субстратах было достаточно равномерным (рис. 1), в пределах 5 – 13 видов после 48 дней до 10 – 17 видов через 111 дней, в целом на субстратах составляя от 16 до 22 видов.

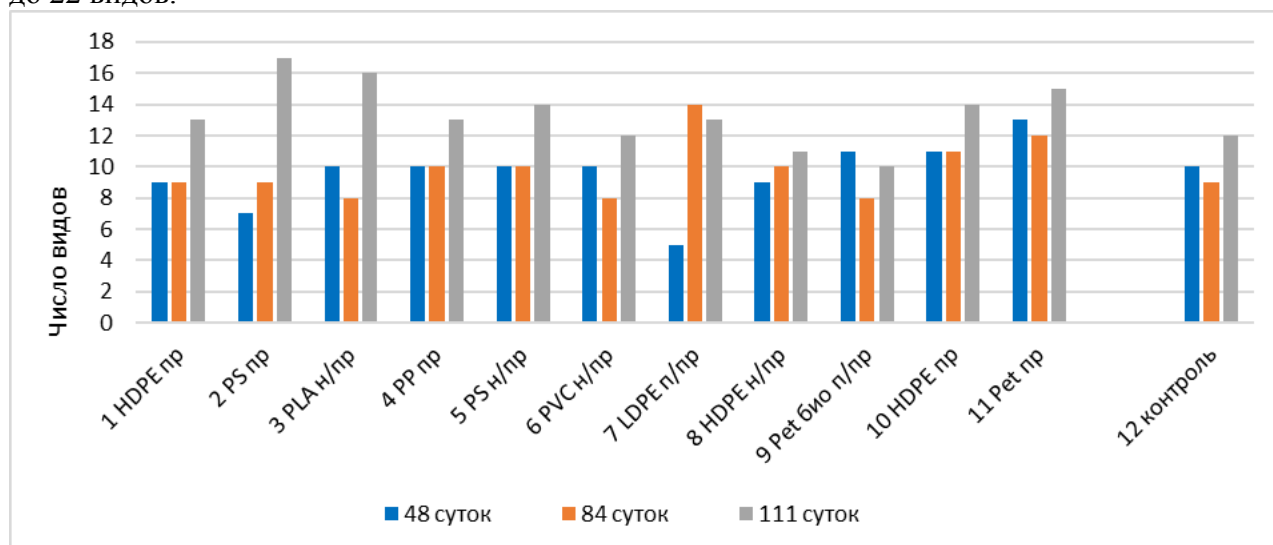


Рис. 1. Число видов цианобактерий в перифитоне разных образцов пластиков и контрольного стекла по периодам исследования: через 48 суток; 84 суток и 111 суток. Обозначения: пр – прозрачный, н/пр – не прозрачный, п/пр – полупрозрачный.

В течение эксперимента биопленки на субстратах росли и через 111 дней на каждом из субстратов наблюдалось наибольшее, по сравнению с другими периодами, число видов. Исключения составили полупрозрачный образец № 7 LDPE и биоразлагаемый № 9 PETбио. Коэффициент видового сходства сообществ ЦБ между субстратами показал достаточно высокие значения. Сообществ цб на субстратах с менее 25% видового сходства не было, доля сообществ с низким сходством до 50 % составила 8 %; доля сообществ со сходством выше среднего до 75% - 69%; а сообществ с наивысшим сходством более 75 % было 23 %. Наибольшая частота высоких значений K_s (более 75%) с большинством субстратов была отмечена для сообществ на №№ 3 PLA; 4 PP; 5 PS, а низких значений K_s (менее 50%) для сообществ на №№ 2 PS и 8 HDPE.

Мера сходства Сьеренсена для сообществ на субстратах показала, что с течением времени видовая структура сообществ усложняется и увеличивается разнообразие. Сообщество цб с наивысшими значениями K_s после каждого из периодов экспозиции было на образце № 5 PS (одноразовая ложка) (K_s 48-84 = 80%; K_s 84-111 = 83%; K_s 48 – 111 = 67%). Наиболее стабильными с минимальными колебаниями значений индекса сходства

были сообщества на №№ 3 PLA; 4 PP; 9 PET bio и 11 PET. Наиболее изменчивыми стали сообщества на образцах №№ 7 LDPE (пакет для мусора) и 8 HDPE (банка из-под шампуня), а также на контрольном стекле № 12. Здесь значения индексов сходства к концу эксперимента резко снизились до наименьших (33%, 30% и 29%, соответственно).

Таким образом, зависимости развития сообществ цб от типа субстрата не выявлено, все субстраты в обозначенных выше группах не обладали общими свойствами, они были как прозрачными, так и непрозрачными, гладкими или шероховатыми, плотными или эластичными, разных цветов.

К аналогичному выводу приводит анализ сходства сообществ цб с субстратов с контрольным стеклом, которое с течением времени экспозиции увеличивалось, за исключением образцов № 8 и 9, и составило 35 – 60% после 48 дней, 45-74% после 84 дней и 53 – 75% после 111 дней.

Усредненная численность и биомасса цианобактерий пластисферы с течением времени экспозиции и ростом биопленки возрастали, от 236 тысяч кл.·см⁻² до 2,4 млн. кл.·см⁻² и от 0,009 мкг·см⁻² до 0,407 мкг·см⁻². Максимумы и минимумы общей численности клеток и биомассы цианобактерий не совпадали по периодам и субстратам (рис. 2).

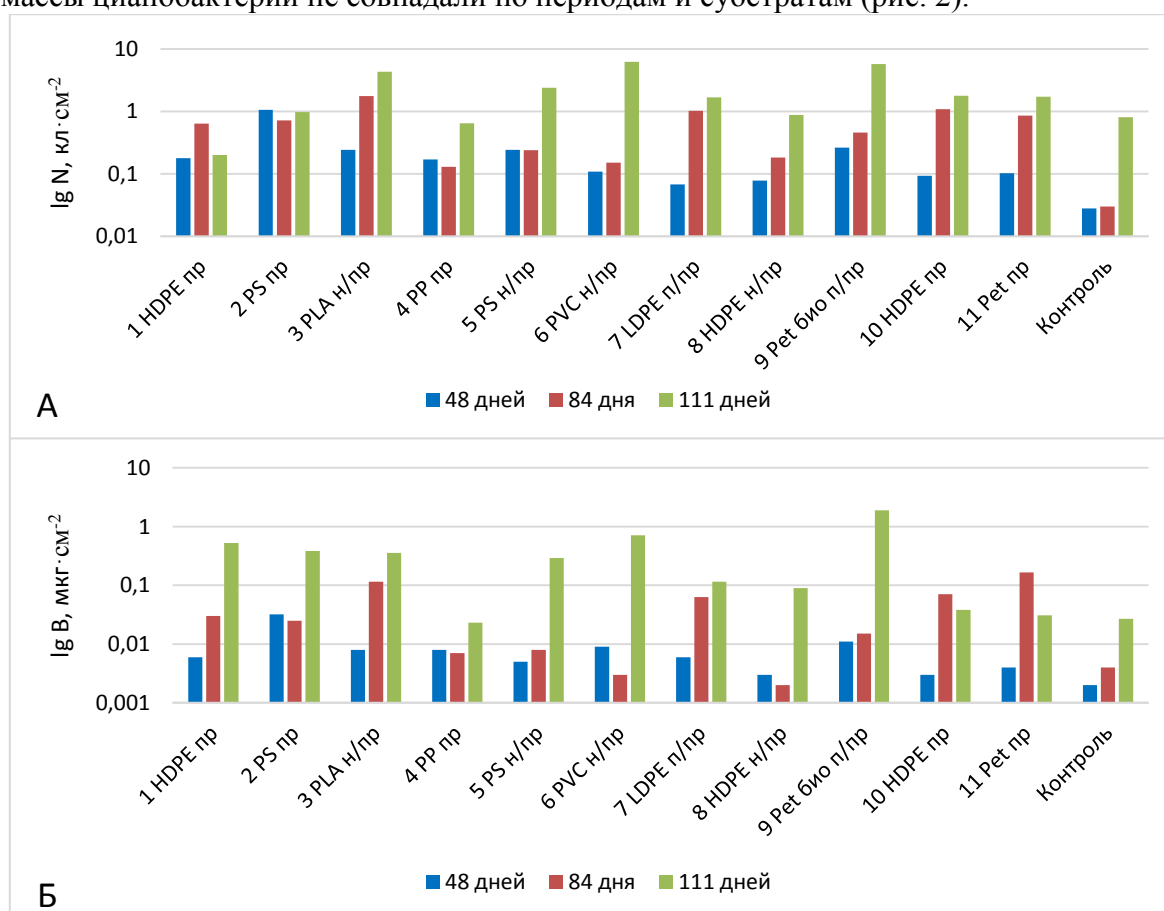


Рис. 2. Динамика численности и биомассы цианобактерий в перифитоне разных образцов пластика и контрольном стекле по периодам экспозиции (А – численность; Б – биомасса).

Сообщества цб на полимерах №№ 3 PLA, 6 PVC и 9 PET bio представлены наибольшей численностью и биомассой, значительно увеличившейся с течением времени экспозиции. Сообщества цб с наименьшими количественными характеристиками развились на пластиках №№ 1 HDPE, 4 PP, 8 HDPE и стекле №12 Control. С течением времени биопленки росли, утолщались, в них сменились доминанты с тонких нитчатых *Spirulina* spp., ответственных за вклад в общую численность, и средних *Potamolinea* sp. в начале экспозиции на *Phormidium* spp. и *Oscillatoria* spp. с крупными нитями, обусловивших значительный рост биомассы в конце эксперимента.

Заключение. Полученные результаты исследований перифитонных цианобактерий наглядно показали, как пластиковые отходы в морской среде превращаются в субстраты с отдельными самостоятельными сообществами на них. Отмечено, что с увеличением времени экспозиции пластиковых субстратов в море увеличивается видовое разнообразие сообществ и их сходство на разных типах субстратов.

Следует отметить низкую специфичность сообществ цианобактерий к типу пластика, а также преобладание в перифитоне морских бентосных видов, обладающих разными адаптационными свойствами к заселению субстратов и образованием сложных устойчивых биопленок с признаками естественного обрастания.

Для выявления закономерностей функционирования сообществ цианобактерий пластисферы необходимо изучить их жизненные стратегии и морфофизиологический статус популяций на разных типах субстратов на ранних стадиях колонизации, выявить взаимосвязь между биотическими компонентами и параметрами среды. Без таких подходов невозможно разработать механизмы управления пластиковым загрязнением моря и защиты окружающей среды. Дальнейшая работа должна быть направлена на выяснение роли цианобактерий в трансформации пластиковых отходов в море, а также на выявление отдельных видов, способных к их биодegradации или изменению их свойств, что приведет к созданию новых биотехнологических объектов для использования в разных сферах деятельности человека.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Aytan Ü. Marine Litter in the Black Sea / Ü. Aytan, M. Pogojeva, A. Simeonova. – Istanbul, Turkey: Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No. 56, 2020. – 361 p.
2. Andrady A.L. Persistence of Plastic Litter in the Oceans / A.L. Andrady // In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds.) Marine Anthropogenic Litter. – Cham.: Springer, 2015. – pp. 57-72. – Doi:10.1007/978-3-319-16510-3_3.
3. Cole M. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. / M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, T.S. Galloway // Marine Pollution Bulletin. – 2011. – N 62. – pp. 2588-2597. – Doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
4. Steensgaard I.M. From macro- to microplastics – Analysis of EU regulation along the life cycle of plastic bags / I.M. Steensgaard, K. Syberg, S. Rist, N.B. Hartmann, A. Boldrin, S.F. Hansen // Environmental Pollution. – 2017. – N224. – pp. 289-299. – Doi:10.1016/j.envpol.2017.02.007.
5. Zettler E.R. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris / E.R. Zettler, T.J. Mincer, L.A. Amaral-Zettler // Environmental Science and Technology. – 2013. – Vol.47, N13. – pp. 7137–7146. – Doi:10.1021/es401288x.
6. Bryant J.A. Diversity and activity of communities inhabiting plastic debris in the North Pacific Gyre / J.A. Bryant, T.M. Clemente, D.A. Viviani, A.A. Fong, K.A. Thomas, P. Kemp, D.M. Karl, A.E. White, E.F. DeLong // Systems. – 2016. – N 3. – pp. 16-24. – Doi:10.1128/mSystems.00024-16.
7. Salta M. Marine biofilms on artificial surfaces: structure and dynamics / M. Salta, J.A. Wharton, Y. Blache, K.R. Stokes, J.-F. Briand // Environmental Microbiology. – 2013. – Vol. 15, N 11. – pp. 2879-2893. – Doi:10.1111/1462-2920.12186.
8. Ryabushko L.I. Diatoms and cyanobacteria of periphyton of experimental synthetic polymer materials in Karantinnaya Bay in the Black Sea / L.I. Ryabushko, A.V. Bondarenko, E.S. Miroshnichenko, D.N. Lishaev, A.G. Shiroyan // Inland Water Biology. – 2020. – Vol. 13, N 3. – pp. 399-407. – Doi:10.1134/S1995082920020285.
9. Ryabushko L. Diatom and cyanobacteria communities on artificial polymer substrates in the Crimean coastal waters of the Black Sea / L. Ryabushko, E. Miroshnichenko, A. Blaginina, A. Shiroyan, D. Lishaev // Marine Pollution Bulletin. – 2021. – Vol. 169. Art. no. 112521. – 10 p. – Doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112521.

10. Wright R. Marine plastic debris: a new surface for microbial colonization / R.J. Wright, G. Erni-Cassola, V. Zadjelovic, M. Latva, J.A. Christie-Oleza // *Environmental Science and Technology*. – 2020. – N 54. – pp. 11657–11672. Doi:10.1021/acs.est.0c02305.
11. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод.
12. Guiry, M.D., Guiry, G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.algaebase.org>; дата обращения 20.04.2022.
13. Komárek J. Cyanoprokaryota. 1 Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek, K. Anagnostidis. – Bd 19/1. – Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1999. – 523 p.
14. Komárek J. Cyanoprokaryota. 2 Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek, K. Anagnostidis. – Bd 19/2. – München: Elsevier GmbH, 2005. – 759 p.
15. Komárek J. Cyanoprokaryota. 3 Teil: Heterocytous genera. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek. – Bd 19/3. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 1132 p. – Doi:10.1007/978-3-8274-2737-3.
16. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
17. Sørensen T.A. New method of establishing group of equal amplitude in plant sociology based on similarity of a species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons / T.A. Sørensen // *Kgl. Dan. videnskab. selskab. biol. skr.* – 1948. – Vol. 5, N 4. – pp. 1-34.
18. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Чёрного моря: под ред. А.В. Гаевской. Севастополь: Изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с.
19. Ecology of cyanobacteria II. Their diversity in space and time / Ed. Whitton, B.A. – Berlin Heidelberg: Springer Science, Business Media, 2012. – 760 p.
20. Kaštovský J. Cyanobacteria on rock surfaces. In: Büdel B., Friedl T. Life at rock surfaces / J. Kaštovský, T. Hauer, J. Komárek. – Berlin/Munich/Boston: Walter de Gruyter GmbH, 2021. – pp. 87-140.

REFERENCES

1. Aytan Ü. Marine Litter in the Black Sea / Ü. Aytan, M. Pogojeva, A. Simeonova. – Istanbul, Turkey: Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No. 56, 2020. – 361 p.
2. Andrady A.L. Persistence of Plastic Litter in the Oceans / A.L. Andrady // In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds.) *Marine Anthropogenic Litter*. – Cham.: Springer, 2015. – pp. 57-72. – Doi:10.1007/978-3-319-16510-3_3.
3. Cole M. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. / M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, T.S. Galloway // *Marine Pollution Bulletin*. – 2011. – N 62. – pp. 2588-2597. – Doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
4. Steensgaard I.M. From macro- to microplastics – Analysis of EU regulation along the life cycle of plastic bags / I.M. Steensgaard, K. Syberg, S. Rist, N.B. Hartmann, A. Boldrin, S.F. Hansen // *Environmental Pollution*. – 2017. – N224. – pp. 289-299. – Doi:10.1016/j.envpol.2017.02.007.
5. Zettler E.R. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris / E.R. Zettler, T.J. Mincer, L.A. Amaral-Zettler // *Environmental Science and Technology*. – 2013. – Vol.47, N13. – pp. 7137–7146. – Doi:10.1021/es401288x.
6. Bryant J.A. Diversity and activity of communities inhabiting plastic debris in the North Pacific Gyre / J.A. Bryant, T.M. Clemente, D.A. Viviani, A.A. Fong, K.A. Thomas, P. Kemp, D.M. Karl, A.E. White, E.F. DeLong // *Systems*. – 2016. – N 3. – pp. 16-24. – Doi:10.1128/mSystems.00024-16.

7. Salta M. Marine biofilms on artificial surfaces: structure and dynamics / M. Salta, J.A. Wharton, Y. Blache, K.R. Stokes, J.-F. Briand // *Environmental Microbiology*. – 2013. – Vol. 15, N 11. – pp. 2879-2893. – Doi:10.1111/1462-2920.12186.
8. Ryabushko L.I. Diatoms and cyanobacteria of periphyton of experimental synthetic polymer materials in Karantinnaya Bay in the Black Sea / L.I. Ryabushko, A.V. Bondarenko, E.S. Miroshnichenko, D.N. Lishaev, A.G. Shiroyan // *Inland Water Biology*. – 2020. – Vol. 13, N 3. – pp. 399-407. – Doi:10.1134/S1995082920020285.
9. Ryabushko L. Diatom and cyanobacteria communities on artificial polymer substrates in the Crimean coastal waters of the Black Sea / L. Ryabushko, E. Miroshnichenko, A. Blaginina, A. Shiroyan, D. Lishaev // *Marine Pollution Bulletin*. – 2021. – Vol. 169. Art. no. 112521. – 10 p. – Doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112521.
10. Wright R. Marine plastic debris: a new surface for microbial colonization / R.J. Wright, G. Erni-Cassola, V. Zadjelovic, M. Latva, J.A. Christie-Oleza // *Environmental Science and Technology*. – 2020. – N 54. – pp. 11657–11672. Doi:10.1021/acs.est.0c02305.
11. RD 52.10.243-92. Manual for chemical analysis of marine waters.
12. Guiry, M.D., Guiry, G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.algaebase.org>; дата обращения 20.04.2022.
13. Komárek J. Cyanoprokaryota. 1 Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek, K. Anagnostidis. Bd 19/1. – Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1999. – 523 p.
14. Komárek J. Cyanoprokaryota. 2 Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek, K. Anagnostidis. Bd 19/2. – München: Elsevier GmbH, 2005. – 759 p.
15. Komárek J. Cyanoprokaryota. 3 Teil: Heterocytous genera. Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komárek. Bd 19/3. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 1132 p. – Doi:10.1007/978-3-8274-2737-3.
16. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Quantitative hydroecology: methods of system identification – Tolyatti: IEVB RAS, 2003. – 463 p. [In Russian].
17. Sørensen T.A. New method of establishing group of equal amplitude in plant sociology based on similarity of a species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons / T.A. Sørensen // *Kgl. Dan. videnskab. selskab. biol. skr.* – 1948. – Vol. 5, N 4. – pp. 1-34.
18. Ryabushko L.I. Microphytobenthos of the Black Sea. Ed.: A.V. Gaevskaya, A.V. – EKOSI-Gidrophysica: Sevastopol, 2013. – p. 416 [In Rus.].
19. Ecology of cyanobacteria II. Their diversity in space and time / Ed. Whitton, B.A. – Berlin Heidelberg: Springer Science, Business Media, 2012. – 760 p.
20. Kaštovský J. Cyanobacteria on rock surfaces. In: Büdel B., Friedl T. Life at rock surfaces / J. Kaštovský, T. Hauer, J. Komárek. – Berlin/Munich/Boston: Walter de Gruyter GmbH, 2021. – pp. 87-140.

Информация об авторах

Е.С. Мирошниченко – кандидат биологических наук, научный сотрудник;

А.А. Благинина – кандидат биологических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

E.S. Miroshnichenko – PhD in Biological sciences, researcher;

A.A. Blaginina – PhD in Biological sciences, researcher.

Елена Николаевна Патова¹, Ирина Владимировна Новаковская²

^{1,2} *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

¹ *patova@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>*

² *novakovskaya@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5056-9965>*

ПОЧВЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Аннотация. В статье представлены обобщенные литературные и оригинальные данные по видовому разнообразию Cyanobacteria в почвах северо-востока европейской части России. Всего обнаружено 245 таксонов из 68 родов. Исследования видового богатства Cyanobacteria охватывают тундровую зону, горные районы северных регионов Урала, среднюю и южную тайгу. В альгологически чистые культуры выделено 47 штаммов цианобактерий, которые поддерживаются в коллекции микроводорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН (СКОА).

Ключевые слова: Cyanobacteria, видовое богатство, северо-восток европейской части России

Благодарности: исследования выполнены при частичной поддержке гранта РФФ № 22-24-00673 и РФФ № 21-14-00029.

Elena N. Patova, Irina V. Novakovskaya

^{1,2} *Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Komi Republic, Russia*

¹ *patova@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>*

² *novakovskaya@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5056-9965>*

SOIL CYANOBACTERIA OF THE NORTHEASTERN EUROPEAN RUSSIA

Abstract. The literature and original data on the species diversity of Cyanobacteria in the soils of the Northeastern European Russia are summarized. A total of 245 taxa from 68 genera were found. The species richness of Cyanobacteria was studied in the tundra zone, mountainous regions of the northern regions of the Urals, middle and southern taiga. 47 strains of cyanobacteria were isolated in unialgal cultures. The strains are kept in the microalgae collection of the Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (SIKOA).

Keywords: Cyanobacteria, species richness, Northeastern European Russia

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Projects No 22-24-00673 and No 21-14-00029.

Цианобактерии – представители древнейшей группы оксигенных фотосинтезирующих прокариотических организмов с довольно сложной морфологической дифференциацией. В ходе длительной эволюции эти организмы приобрели способность адаптироваться к самым разнообразным экологическим условиям (высокая или низкая температура, повышенная солнечная радиация, щелочная или кислая рН среды и др.). Такая особенность позволяет им занимать разнообразные наземные и водные местообитания, обеспечивает их широкое распространение.

Северо-восток европейской части России – это регион с суровыми климатическими условиями, которые ограничивают биологическое разнообразие. В наземных экосистемах цианобактерии являются важным компонентом биоты. Они участвуют в процессах

накопления органического вещества и азота в почве, круговоротах многих элементов и соединений, поддерживают газовый режим, являются первичными продуцентами и т.д. На северо-востоке европейской части России видовое разнообразие и функциональные показатели почвенных цианобактерий исследуются с 1962 года [1]. Большой вклад в их изучение внесли сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН, а также специалисты из других научных учреждений России. За этот период накоплен обширный материал по видовому богатству и распространению этой группы микроорганизмов на данной территории, изучены их функциональные показатели, в последнее время для некоторых таксонов выявлены молекулярно-генетические особенности.

Всего в почвах северо-востока европейской части России выявлено 245 таксонов из отдела Cyanobacteria, 1 класса, 10 порядков, 32 семейств и 68 родов. Доминируют виды из порядков – Nostocales, Oscillatoriales, Chroococcales, Synechococcales. Ведущими семействами являются: *Oscillatoriaceae*, *Nostocaceae*, *Chroococcaceae*, *Microcoleaceae*, *Leptolyngbyaceae*. Наибольшее число видов выявлено из родов: *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Nostoc*, *Chroococcus* и *Gloeocapsa*. Высокую частоту встречаемости имеют виды: *Desmonostoc muscorum*, *Fischerella ambigua*, cf. *Leptolyngbya foveolarum*, *Microcoleus autumnalis*, *Nostoc commune*, *N. punctiforme*, *Potamolinea aerugineocaerulea*, *Phormidium ambiguum*, *Stigonema ocellatum*, *S. minutum*, *Symplocastrum friesii*, *Tolypothrix tenuis*.

Видовое богатство цианобактерий европейского северо-востока исследовано достаточно хорошо и составляет 75 % (327 таксонов) от флоры Cyanobacteria России [2], а также соотносимо с флорой Мурманской области – 229 таксонов [3]. Cyanobacteria относительно хорошо исследованы на территории северо-востока европейской части России включая: тундровую зону – Большеземельская тундра [4], Печорская низменность [5], горные районы – Полярный, Приполярный и Северный Урал [6-9], среднюю тайгу – ельники в окрестности г. Сыктывкар [10], южную тайгу – старовозрастные леса Койгородского национального парка (данные не опубликованы) и др.

Большое значение для сохранения биоразнообразия цианобактерий и изучения их особенностей играют альгологические коллекции. В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН создана коллекция живых культур цианобактерий и водорослей (SYKOA) из наземных и водных местообитаний арктических и северных регионов России. К сожалению, в связи с функциональными особенностями клеток, а также специфическими условиями культивирования не всегда удается выделить в культуру все обнаруженные виды из отдела Cyanobacteria. Несмотря на это в коллекции SYKOA представлено 47 штаммов цианобактерий (<https://ib.komisc.ru/sykoa>), в основном это виды, формирующие доминантный комплекс в почвах европейского северо-востока России. Для некоторых штаммов из коллекционного фонда выполнен молекулярно-генетический анализ и последовательности генов 16S рРНК представлены в генбанке (см. список). Для штаммов SYKOA C-002-10, SYKOA C-003-10 и SYKOA C-015-09 получено по одному амплификату и собрано по одной последовательности локуса, содержащего ген 16SpРНК и межгенный спейсер 16S-23S ITS рРНК [11].

1. *Leptolyngbya voronichiniana* Anagn. et Komárek – SYKOA C-001-09
2. (*Drouetiella*) *Leptolyngbya foveolarum* (Gom.) Anagn. et Komárek – SYKOA C-002-10
3. (*Stenomitos*) *Leptolyngbya foveolarum* (Gom.) Anagn. et Komárek – SYKOA C-003-10
4. *Nostoc punctiforme* Har. – SYKOA C-004-09
5. *Desmonostoc muscorum* (Bornet et Flahault) Hrouzek et Ventura – SYKOA C-005-09
6. *Potamolinea aerugineocaerulea* (Gom.) M.D.Martins et L.H.Z.Branco – SYKOA C-006-10
7. *Phormidium ambiguum* Gom. – SYKOA C-007-10
8. *Microcoleus autumnalis* (Gom.) Strunecky, Komárek et J.R.Johans. – SYKOA C-008-11
9. *Phormidium corium* Gom. ex Gom. – SYKOA C-009-09
10. *Phormidesmis mollis* (Gom.) Turicchia, Ventura, Komárková et Komárek – SYKOA C-010-09
11. *Porphyrosiphon lomniczensis* (Kol) Anagn. et Komárek – SYKOA C-011-09
12. *Stenomitos frigidus* (F.E.Fritsch) Miscoe et J.R.Johans. – SYKOA C-012-10

13. *Pseudophormidium hollerbachianum* (Elenk.) Anagn. – SYKOA C-013-09
14. *Tolypothrix tenuis* Kütz. ex Bornet et Flahault – SYKOA C-014-11
15. (*Stenomitos*) *Leptolyngbya foveolarum* (Gom.) Anagn. et Komárek – SYKOA C-015-09
16. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-021-11 (GenBank KF361485)
17. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-022-12 (GenBank KF361486)
18. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-023 (GenBank KF361487)
19. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-024-06 (GenBank KF361488)
20. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-025-13
21. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-026-13
22. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-027-13
23. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-028-13
24. *Nostoc pruniforme* Ag. ex Bornet et Flahault – SYKOA C-029-14
25. *Nostoc pruniforme* Ag. ex Bornet et Flahault – SYKOA C-030-14
26. *Nostoc pruniforme* Ag. ex Bornet et Flahault – SYKOA C-031-14
27. *Tolypothrix tenuis* Kütz. ex Bornet et Flahault – SYKOA C-032-16
28. *Scytonema hofmanni* C.Agardh ex Bornet & Flahault – SYKOA C-033-16
29. *Phormidium puteale* (Montagne ex Gom.) Anagn. et Komárek – SYKOA C-034-16
30. *Symplocastrum friesii* (Gom.) Kirchner – SYKOA C-035-16
31. *Fischerella muscicola* Gom. – SYKOA C-037-16
32. *Leptolyngbya* sp. – SYKOA C-038-18
33. *Stigonema* sp. – SYKOA C-039-18
34. *Nostoc* sp. – SYKOA C-040-20
35. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-041-20
36. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-042-20
37. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – SYKOA C-043-20
38. *Nostoc* sp. – SYKOA C-044-20
39. *Anabaena cylindrica* Lemmerm. – SYKOA C-045-20
40. *Leptolyngbya subcyanea* (Hansg.) Komárek – SYKOA C-046-20
41. *Nostoc* sp. – SYKOA C-047-21
42. *Scytonema hofmannii* C.Agardh ex Bornet et Flahault – SYKOA C-048-21
43. *Porphyrosiphon fuscus* Gom. ex Frémy – SYKOA C-049-21
44. *Tolypothrix fasciculata* Gom. – SYKOA C-050-21
45. *Leptolyngbya* sp. – SYKOA C-051-21
46. *Tolypothrix* sp. – SYKOA C-052-21
47. *Scytonema* sp. – SYKOA C-053-21

В дальнейшем запланировано исследование морфологических и молекулярно-генетических особенностей штаммов из коллекции SYKOA, выявление таксономического разнообразия и определение роли цианобактерий в почвах европейского северо-востока России с помощью метагеномного подхода, изучение функциональных и количественных показателей представителей отдела Cyanobacteria. Для пополнения коллекционного фонда SYKOA планируется отбор проб из разных вариантов почв европейского северо-востока России и выделение из них культур цианобактерий, а также подбор и разработка новых методов и приемов культивирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Библиография работ по современным водорослям Европейского Северо-Востока России / М. В. Гецен, А. С. Стенина, Е. Н. Патова. Сыктывкар, 2005. 88 с.
2. Список водорослей, обнаруженных в почвах на территории бывшего СССР: деп. в ВИНТИ 18.12.98. № 3759-B98 / Э. А. Штина, Р. Р. Кабиров, Л. С. Хайбуллина, Л. А. Гайсина, Е. В. Сугачкова, А. И. Фазлутдинова. М., 1998. 31 с.
3. Давыдов Д. А. Цианопрокариоты и их роль в процессе азотфиксации в наземных экосистемах Мурманской области. М: ГЕОС, 2010. 184 с.

4. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия: монография / М. В. Гецен, А. С. Стенина, Е. Н. Патова. Екатеринбург: Наука, 1994. 150 с.
5. Зимонина Н. М. Почвенные водоросли нефтезагрязненных земель. Киров: ВГПУ, 1998. 170 с.
6. Патова Е. Н., Новаковская И. В. Почвенные водоросли северо-востока европейской части России // *Новости систематики низших растений*. 2018. Т. 52. №2. С. 311-353. <http://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>
7. Davydov D. Cyanobacterial Diversity of the Northern Polar Ural Mountains // *Diversity*. 2021. No 13. P. 607. <http://doi.org/10.3390/d13110607>
8. Distribution of algae and cyanobacteria of biological soil crusts along the elevation gradient in mountain plant communities at the Northern Urals (Russian European Northeast) / I. V. Novakovskaya, E. N. Patova, Y. A. Dubrovskiy, A. B. Novakovskiy, E. E. Kulyugina // *Journal of Mountain Science*. 2022. No 19(3). P. 637-646. <http://doi.org/10.1007/s11629-021-6952-7>
9. Patova E.N., Novakovskaya I.V., Deneva S.V. Influence of edaphic and orographic factors on the diversity of algae communities of biological soil crusts on medallion spots of the Polar and Subpolar Urals // *Eurasian Soil Sci*. 2018. No 3. P. 318-330. DOI: 10.7868 / S0032180X18030061
10. Новаковская И. В., Патова Е. Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения: монография. Сыктывкар, 2011. 128 с.
11. Проблема скрытого разнообразия цианопрокариот арктических территорий / Д. А. Давыдов, Е. Н. Патова, С. С. Шалыгин, А. А. Вильнет, И. В. Новаковская // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 1. P. 110-116. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-110-116

REFERENCES

1. Bibliography of works on modern algae of the European North-East of Russia / M. V. Getsen, A. S. Stenina, E. N. Patov. Syktyvkar, 2005. 88 p. (In Russ.)
2. List of algae found in soils on the territory of the former USSR: dep. at VINITI 12/18/98. No. 3759-B98 / E. A. Shtina, R. R. Kabirov, L. S. Khaibullina, L. A. Gaisina, E. V. Sugachkova, A. I. Fazlutdinov. M., 1998. 31 p. (In Russ.)
3. Davydov D. A. Cyanoprocaryotes and their role in the process of nitrogen fixation in terrestrial ecosystems of the Murmansk region. M: GEOS, 2010. 184 p. (In Russ.)
4. Algoflora of the Bolshezemelskaya tundra under anthropogenic impact / M. V. Getsen, A. S. Stenina, E. N. Patov. Yekaterinburg: Nauka, 1994. 150 p. (In Russ.)
5. Zimonina N. M. Soil algae of the oil contaminated land. Kirov: VGPU, 1998. 170 p. (In Russ.)
6. Patova E. N., Novakovskaya I. V. Soil algae of the Northeastern European Russia // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. 2018. Т. 52. No. 2. P. 311-353. <http://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>. (In Russ.)
7. Davydov D. Cyanobacterial Diversity of the Northern Polar Ural Mountains // *Diversity*. 2021. No 13. P. 607. <http://doi.org/10.3390/d13110607>
8. Distribution of algae and cyanobacteria of biological soil crusts along the elevation gradient in mountain plant communities at the Northern Urals (Russian European Northeast) / I. V. Novakovskaya, E. N. Patova, Y. A. Dubrovskiy, A. B. Novakovskiy, E. E. Kulyugina // *Journal of Mountain Science*. 2022. No 19(3). P. 637-646. <http://doi.org/10.1007/s11629-021-6952-7>.
9. Patova E.N. Novakovskaya I.V., Deneva S.V. Influence of edaphic and orographic factors on the diversity of algae communities of biological soil crusts on medallion spots of the Polar and Subpolar Urals // *Eurasian Soil Sci*. 2018. No 3. P. 318-330. DOI: 10.7868 / S0032180X18030061
10. Novakovskaya I. V., Patov E. N. Soil algae of spruce forests and their changes in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar, 2011. 128 p. (In Russ.)

11. The problem of hidden diversity of cyanoprokaryotes in the Arctic territories / D. A. Davydov, E. N. Patova, S. S. Shalygin, A. A. Vilnet, I. V. Novakovskaya // Theoretical and applied ecology. 2020. No. 1. P. 110-116. <http://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-110-116>. (In Russ.)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Информация об авторах

Е.Н. Патова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник;
руководитель группы геоботаники и сравнительной флористики;

И.В.Новиковская – кандидат биологических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

E.N. Patova – PhD in Biological sciences, leading researcher, head of the geobotany and comparative floristics group;

I.V.Novakovskaya – PhD in Biological sciences, researcher.

Елена Николаевна Патова¹, Михаил Дмитриевич Сивков²

^{1,2} *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

¹ *patova@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>*

² *sivkov@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4914-0234>*

РАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПОЧВЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ КОРКАХ ГОРНЫХ ТУНДР УРАЛА

Аннотация. В биологических почвенных корках горных тундр Урала обнаружено 86 видов цианобактерий из 46 родов. Основу разнообразия биологических почвенных корок формирует комплекс видов из родов *Nostoc*, *Stigonema*, *Scytonema*, *Gloeocapsopsis*, *Phormidium*, *Leptolyngbya* и *Symplocastrum*. Азотфиксирующие виды составляют 43% процента от общего разнообразия. В работе приведены результаты многолетнего изучения азотфиксирующей активности и рекогносцировочные данные об углекислотном газообмене биологических почвенных корок с доминированием цианобактерий для горных тундр Урала.

Ключевые слова: цианобактерии, биологические почвенные корочки, азотфиксация, горные тундры, Полярный, Приполярный, Северный Урал

Благодарности: исследования выполнены при поддержке грантов РФФ № 22-24-00673 и № 21-14-00029.

Elena N. Patova¹, Mikhail D. Sivkov²

^{1,2} *Institute of Biology, FRC Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar, Russia*

¹ *patova@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9418-1601>*

² *sivkov@ib.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4914-0234>*

DIVERSITY, ECOLOGY, AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF CYANOBACTERIA IN SOIL BIOLOGICAL CRUSTS OF THE URALS MOUNTAIN TUNDRA

Annotation. In the biological soil crusts of the mountain tundra of the Urals, 86 species of cyanobacteria from 46 genera were found. The diversity of biological soil crusts is based on a complex of species from the genera *Nostoc*, *Stigonema*, *Scytonema*, *Gloeocapsopsis*, *Phormidium*, *Leptolyngbya*, and *Symplocastrum*. Nitrogen-fixing species make up 43% of the total diversity. The paper presents the results of a long-term study of nitrogen-fixing activity and reconnaissance data on the carbon dioxide gas exchange of biological soil crusts with the dominance of cyanobacteria for the mountain tundra of the Urals.

Key words: cyanobacteria, biological soil crusts, nitrogen fixation, mountain tundra, Polar, Subpolar and Northern Urals

Acknowledgments: the studies were supported by the Russian Science Foundation grants No. 22-24-00673 and No. 21-14-00029.

Биологические почвенные корочки (БК), формируемые сообществами криптогамных организмов (включая цианобактерии, водоросли, лишайники, мхи), играют заметную роль в глобальных биогеохимических циклах углерода и азота [12]. Формируются БК в основном на оголенных грунтах и почвах от полярных регионов до аридных пустынь. По предварительной оценке, на долю БК в мировых углеродных циклах приходится до ~3,6

млрд. тонн С в год, а уровень фиксации азота может достигать до ~107 млн. тонн N в год [9]. Значительный вклад в эти глобальные процессы вносят БК полярных, арктических и горных регионов. Здесь БК формируются на пятнах-медальонах, образующихся в результате нарушения почвенно-растительного покрова под влиянием криогенных процессов. Цианобактерии благодаря уникальной способности к автотрофии по углероду и азоту, являются важным функциональным компонентом таких сообществ и часто выступают в качестве основных азотфиксирующих компонентов БК [6]. Видовое разнообразие и азотфиксирующая активность цианобактерий биологических корок изучена для ряда районов Канадской Арктики, архипелага Шпицберген и некоторых высокогорных регионов [7, 8, 21]. Для северо-востока европейской России сведения о разнообразии, экологии и азотфиксирующей активности цианобактерий – компонентов биологических почвенных корок ограничены исследованиями, проведенными в европейских тундрах [1, 3, 10, 14, 19] и на Приполярном Урале [15-17] и Северном Урале [13].

Цель работы – обобщение сведений о видовом разнообразии и экологии диазотрофных цианобактерий биологических почвенных корок, а также показателях азотфиксирующей активности и углекислотного газообмена в условиях горных тундр северных регионов Урала.

Исследования проведены в 2012-2021 гг. на Полярном, Приполярном и Северном Урале. Изучено видовое разнообразие цианобактерий. Сборы почвенных водорослей выполнены общепринятыми в почвенной альгологии методами [4,5]. Активно вегетирующие и доминантные виды определяли методом прямого микроскопирования свежесобранных почвенных образцов, дополнительно применяли методы культивирования на твердых и жидких средах Bg11 и WS. Проведены полевые исследования азотфиксирующей активности биологических почвенных корочек. Активность фиксации молекулярного азота (ARA), измерена методом ацетиленовой редукции [18] и рассчитана как продукция C_2H_4 в $mg\ m^{-2}ч^{-1}$. Потоки CO_2 и суточный баланс углерода исследованы на Полярном Урале с использованием газоанализатора OB5000 (Германия). Статистическая обработка результатов выполнена в программе Statistica 13.0.

Всего к настоящему времени в наземных местообитаниях горных тундр Урала при обследовании биологических почвенных корок выявлено 86 видов цианобактерий из 46 родов [2]. 37 видов цианобактерий относятся к диазотрофным, способным к фиксации молекулярного азота. Активно вегетирующие виды, обычно формирующие комплекс доминантов биологических корок: *Nostoc commune* f. *comunne*, *N. commune* f. *ulvaceum*, *N. punctiforme*, *N. linckia*, *Stigonema ocellatum*, *S. minutum*, *Symplocastrum friesii*, *Fischerella muscicola*, *Gloeocapsopsis magma*, *Trichormus variabilis*, *Leptolyngbya boryana*, *Tolypothrix tenuis*, *T. distorta*, *T. lanata*, *Hapalosiphon fontinalis*, *Scytonema ocellatum*, *Scytonema hofmannii*.

Выделено несколько вариантов биологических корок с доминированием разных видов азотфиксирующих цианобактерий наиболее характерных для пятен-медальонов горных тундр Урала. На полигональных пятнах, характеризующихся относительно слабым увлажнением и резкими колебаниями температуры отмечены БК с доминированием видов рода *Stigonema* (обычно - *S. minutum*, довольно часто - *S. ocellatum*, и редко - *S. informe*). Разрастания стигонем образуют на пятнах голого грунта массивные БК черного или черно-зеленого цвета. Перечисленные виды могут образовывать корки вместе или отдельно друг от друга. В более сухих местообитаниях в БК преобладает *Stigonema minutum*, в более влажных - *S. ocellatum*, *S. informe*. Для стигонем характерно образование значительного числа интеркалярных и терминальных гетероцит, участвующих в активной фиксации молекулярного азота. Все три вида стигонем широко распространены в арктических и горных районах [11].

В более сырых местообитаниях, постоянно подпитываемых талыми водами ледников или водами заболоченных участков, характерны БК с доминированием родов *Nostoc* и *Scytonema* (*N. commune*, *Sc. ocellatum*, *Sc. hofmannii*). Данные виды также в природных условиях формируют многочисленные гетероциты и активно фиксируют молекулярный азот.

Обычно эти виды формируют на поверхности пятен коричневые или коричнево-черные кожистые корки. *N. commune* образует макроколонии на поверхности пятен-полигонов, и в таких случаях является абсолютным доминантом БК и ведущим азотфиксатором. Виды рода *Scytonema* также могут формировать на поверхности пятен-медальонов массовые разрастания, но чаще отмечаются как субдоминанты БК совместно с ностоком.

В формировании биологических почвенных корочек принимают участие и другие азотфиксирующие виды, однако их обилие обычно не высоко. Например, в горных тундрах Урала встречали варианты БК, в которых доминантами были *Hapalosiphon fontinalis*, *Fischerella muscicola*, *Stigonema mesentericum*.

Результаты измерения азотфиксирующей активности для вариантов БК, наиболее широко распространенных в горных тундрах Урала, приведены в таблице 1. Всего было обследовано 112 БК, для которых выполнены измерения примерно при одинаковых температурных условиях (19-20°C). БК в таблице 1 сгруппированы по доминирующим в сообществах видам азотфиксаторов: *Nostoc commune*, *Stigonema ocellatum*, *Stigonema minutum*. Кроме того, выделена отдельная группа, в которых цианобактерии представлены несколькими видами с одинаковыми показателями обилия, поэтому было трудно выделить конкретный доминирующий вид азотфиксатора.

Максимальные значения АРА, как и ожидалось, наблюдали в БК с доминантами *Nostoc commune*, ниже для БК с доминированием *Stigonema ocellatum*. Дисперсионный анализ показал, что АРА биологических почвенных корок с доминированием *Nostoc commune* не имеют признаков различия с БК со *Stigonema ocellatum* ($p=0,245$), в то же время имелись существенные различия с двумя другими вариантами БК ($p<0,05$).

Таблица 1. Показатели азотфиксирующей активности биологических почвенных корок с доминированием разных видов diaзотрофных цианобактерий

Доминирующий вид	Мин-Макс	Срзнач±ст.откл.
	АРА, мгС ₂ Н ₄ м ⁻² ч ⁻¹	
<i>Nostoc commune</i> (n=38)	0,48-6,92	2,84±2,06
<i>Stigonema ocellatum</i> (n=19)	0,48-3,90	1,84±1,02
<i>Stigonema minutum</i> (n=31)	0,44-2,80	1,32±0,65
Доминант не выражен (n=24)	0,01-3,41	1,16±1,06

Примечание: Мин-Макс – минимальные, максимальные значения, Срзнач±ст.откл – средние значения± стандартные отклонения, n – число исследованных БК.

Отметим, что корочки с доминантой *S. minutum* демонстрировали существенно более низкие АРА относительно ностоковых корочек ($p=0,015$) и корочек с доминантами *S. ocellatum*, но отличия с последними были статистически не значимы ($p=0,133$). Биологические почвенные корочки с доминированием *S. minutum* и БК, в которых азотфиксаторы представлены с невысоким обилием, не имели существенных отличий по АРА ($p=0,78$). Полученные результаты сопоставимы с данными по азотфиксирующей активности БК других арктических и горных регионов [3, 8, 10, 14, 21].

Потоки СО₂ и суточный баланс углерода исследованы у стигонемовых БК на Полярном Урале. По результатам измерений построены суточный ход первичной продукции, световая зависимость фотосинтеза, а также температурная зависимость почвенного дыхания. На основе регрессионного анализа выявлено, что температурная зависимость валового дыхания хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией ($R^2=0,98$), световая зависимость фотосинтеза – степенной функцией ($R^2=0,98$). Все коэффициенты в моделях статистически значимые ($p<0,000$, $n=17$). Показано, что первичная продукция БК имеет достаточно узкий температурный оптимум в районе 15°C, а в дневном периоде при температурах выше 21°C наблюдается уже преимущественное выделение СО₂ из корочек. Расчеты показали, что в типичном для Полярного Урала диапазоне температур июля БПК за

сутки депонируют около 17,5 мг CO₂-C м⁻². Для сравнения, величина суточной продукции чуть выше верхней границы диапазона суточной продукции БК арх. Шпицберген - 0-15 мг CO₂-C м⁻² [20]. На основании полученных результатов выполнена предварительная оценка сезонной продукции БК Полярного Урала, оцениваемой не выше 2 г CO₂-C м⁻² примерно за 120 дней положительных температур поверхности почвы.

Проведённые исследования показали относительно высокое разнообразие цианобактерии в почвенных биологических корках горных тундр Урала. Основу доминирующих комплексов БК формируют азотфиксирующие виды из родов *Nostoc*, *Stigonema*, *Scytonema*. Наиболее продуктивными азотфиксаторами в горных тундрах являются *Nostoc commune* и *Stigonema ocellatum*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Давыдов Д.А. Цианопрокарियोты и их роль в процессе азотфиксации в наземных экосистемах Мурманской области. М: ГЕОС, 2010. 184 с.
2. Патова Е.Н. Почвенные водоросли северо-востока европейской части России / Е.Н. Патова И.В. Новаковская // Новости систематики низших растений. 2018. Т. 52. №2. С. 311-353. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>.
3. Патова Е.Н. Нитрогеназная активность цианопрокарियोтных почвенных корочек в тундровых и горно-тундровых районах Европейского Северо-Востока России / Е.Н. Патова, М.Д. Сивков // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. Т. 41. С. 7-4. https://inep.ksc.ru/documents/IPPES_4_2016.pdf.
4. Штина Э.А. Экология почвенных водорослей / Э.А. Штина, М.М. Голлербах. М.: Наука, 1976. 144 с.
5. Andersen R. A. Algal Culturing Techniques. New York, 2005. 589 p.
6. Belnap J., Lange O. L. Biological soil crusts: structure, function, and management // Springer Science & Business Media, 2013. 503 p.
7. Davydov D., Patova E. The diversity of Cyanoprokaryota from freshwater and terrestrial habitats in the Eurasian Arctic and Hypoarctic // Hydrobiologia. 2018. V. 1 (811). P. 119-37. <https://DOI:10.1007/s10750-017-3400-3>
8. Dickson L. G. Constraints to nitrogen fixation by cryptogamic crusts in a polar desert ecosystem, Devon Island, NWT, Canada // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2000. V. 1;32(1). P. 40-5.
9. Elbert W., Weber B., Burrows S., Steinkamp J., Büdel B., Andreae M., Pöschl U. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen.// Nature Geoscience. 2012. V. 5(7). P. 459-62. https://humboldt-reloaded.uni-hohenheim.de/uploads/tx_uhohhrprojekte/Elbert%20et%20al%202012_Soil%20Algae_SOC.pdf.
10. Getzen M. V., Kostajev V. J., Patova E. N. Role of nitrogen-fixing cryptogamic plants in tundra // Disturbance and Recovery in Arctic Lands an Ecological Perspective Crawford RMM (eds.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 135–150. researchgate.net/profile/Elena-Patova/publication/300669953_Role_of_Nitrogen-Fixing_Cryptogamic_Plants_in_the_Tundra/links/5ced171092851c1ad4983114/Role-of-Nitrogen-Fixing-Cryptogamic-Plants-in-the-Tundra.pdf.
11. Komarek J. Cyanoprokaryota III: Nostocales, Stigonematales / Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komarek. Berlin. 2013. Bd. 19/3. 1130 p.
12. Lindo Z., Nilsson M. C., Gundale M.J. Bryophyte-cyanobacteria associations as regulators of the northern latitude Biogeochemistry carbon balance in response to global change // Global Change Biol. 2013. V. 19. P. 2022–2035. <https://doi.org/10.1111/gcb.12175>.
13. Novakovskaya I.V., Patova E. N., Dubrovskiy Y. A., Novakovskiy A. B., Kulyugina E. E. Distribution of algae and cyanobacteria of biological soil crusts along the elevation gradient in mountain plant communities at the Northern Urals (Russian European Northeast) // Journal of Mountain Science. 2022. No 19(3). P. 637-646. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6952-7>.

14. Patova E.L., Sivkov M.L. Diversity of soil Cyanophyta, CO₂-gas exchange and acetylene reduction of the soil crust in the cryogenic soils (East-European tundra) // *Nova Hedwigia*. 2001. S. 123. P. 387-95.
15. Patova, E., Sivkov M., Patova A. Renitrogen Fixation Activity in Cyanobacterial Biological Soil Crusts with Domination of the *Stigonema* Genus Species in Mountain and Plain North- East European Tundra Ecosystems // *Environment Pollution and Climate Change*. 2017. V. 1. N 4. <https://DOI:10.4172/2573-458X.1000138>.
16. Patova E., Sivkov M., Patova A. Nitrogen fixation activity in biological soil crusts dominated by cyanobacteria in the Subpolar Urals (European North-East Russia) // *FEMS Microbiology Ecology*. 2016. V. 92. № 9. P. 1–9. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw131>.
17. Patova E. N., Novakovskaya I. V., Deneva S. V. Influence of edaphic and orographic factors on the diversity of algae communities of biological soil crusts on medallion spots of the Polar and Subpolar Urals // *Eurasian Soil Sci.* 2018. N 3. P. 318-330. <https://DOI:10.1134/S1064229318030109/>
18. Stewart W. D., Fitzgerald G. P., Burris R. H. In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique // *Proceedings National Acad Sci USA*, 1967. V. 58. P. 2071–2078.
19. Diáková K., Biasi C., Čapek P., Martikainen P.J., Marushchak M.E., Patova E.N., Šantrůčková H. Variation in N₂ fixation in subarctic tundra in relation to landscape position and nitrogen pools and fluxes // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2016. V. 48. № 1. P. 111–125. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-064>.
20. Yoshitake S., Uchida M., Koizumi H., Kanda H., Nakatsubo T. Production of biological soil crusts in the early stage of primary succession on a High Arctic glacier foreland // *New Phytologist*. 2010. V. 186(2). P. 451-60. <http://www.jstor.org/stable/27797567>.
21. Zielke M., Solheim B., Spjelkavik S., Olsen R. A. Nitrogen fixation in the high arctic: role of vegetation and environmental conditions // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2005. V. 37(3). P. 372-8. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0372:NFITHA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0372:NFITHA]2.0.CO;2).

REFERENCES

1. Davydov D. A. Cyanoprokaryotes and their role in the process of nitrogen fixation in terrestrial ecosystems of the Murmansk region: monograph. M: GEOS, 2010. 184 p. (In Russ.).
2. Patova E. N., Novakovskaya I. V. Soil algae of the north-east of the European part of Russia / E.N. Patova // *News of taxonomy of lower plants*. 2018. V. 52. No. 2. pp. 311-353. (In Russ.). <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>.
3. Patova E. N., Sivkov M. D. Nitrogenase activity of cyanoprokaryotic soil crusts in the tundra and mountain-tundra regions of the European North-East of Russia // *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016. V. 41. S. 7-4. (In Russ.). https://inep.ksc.ru/documents/IPPES_4_2016.pdf
4. Shtina E. A. Hollerbach M. M. Ecology of soil algae. M.: Nauka, 1976. 144 p. (In Russ.).
5. Andersen R. A. Algal Culturing Techniques. New York, 2005. 589 p.
6. Belnap J., Lange O. L. Biological soil crusts: structure, function, and management // Springer Science & Business Media, 2013. 503 p.
7. Davydov D., Patova E. The diversity of Cyanoprokaryota from freshwater and terrestrial habitats in the Eurasian Arctic and Hypoarctic // *Hydrobiologia*. 2018. V. 1 (811). P. 119-37. <https://DOI:10.1007/s10750-017-3400-3>
8. Dickson L. G. Constraints to nitrogen fixation by cryptogamic crusts in a polar desert ecosystem, Devon Island, NWT, Canada // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2000. V. 1;32(1). P. 40-5.
9. Elbert W., Weber B., Burrows S., Steinkamp J., Büdel B., Andreae M., Pöschl U. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen.// *Nature Geoscience*. 2012. V. 5(7). P. 459-62. https://humboldt-reloaded.uni-hohenheim.de/uploads/tx_uhohhrprojekte/Elbert%20et%20al%202012_Soil%20Algae_SOC.pdf.

10. Getzen M. V., Kostajev V. J., Patova E. N. Role of nitrogen-fixing cryptogamic plants in tundra // *Disturbance and Recovery in Arctic Lands an Ecological Perspective* Crawford RMM (eds.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 135–150. [researchgate.net/profile/Elena-Patova/publication/300669953_Role_of_Nitrogen-Fixing_Cryptogamic_Plants_in_the_Tundra/links/5ced171092851c1ad4983114/Role-of-Nitrogen-Fixing-Cryptogamic-Plants-in-the-Tundra.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Elena-Patova/publication/300669953_Role_of_Nitrogen-Fixing_Cryptogamic_Plants_in_the_Tundra/links/5ced171092851c1ad4983114/Role-of-Nitrogen-Fixing-Cryptogamic-Plants-in-the-Tundra.pdf).
11. Komarek J. Cyanoprokaryota III: Nostocales, Stigonematales / Süßwasserflora von Mitteleuropa / J. Komarek. Berlin. 2013. Bd. 19/3. 1130 p.
12. Lindo Z., Nilsson M. C., Gundale M.J. Bryophyte-cyanobacteria associations as regulators of the northern latitude Biogeochemistry carbon balance in response to global change // *Global Change Biol.* 2013. V. 19. P. 2022–2035. <https://doi.org/10.1111/gcb.12175>.
13. Novakovskaya I.V., Patova E. N., Dubrovskiy Y. A., Novakovskiy A. B., Kulyugina E. E. Distribution of algae and cyanobacteria of biological soil crusts along the elevation gradient in mountain plant communities at the Northern Urals (Russian European Northeast) // *Journal of Mountain Science.* 2022. No 19(3). P. 637-646. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6952-7>.
14. Patova E.L., Sivkov M.L. Diversity of soil Cyanophyta, CO₂-gas exchange and acetylene reduction of the soil crust in the cryogenic soils (East-European tundra) // *Nova Hedwigia.* 2001. S. 123. P. 387-95.
15. Patova, E., Sivkov M., Patova A. Renitrogen Fixation Activity in Cyanobacterial Biological Soil Crusts with Domination of the Stigonema Genus Species in Mountain and Plain North- East European Tundra Ecosystems // *Environment Pollution and Climate Change.* 2017. V. 1. N 4. <https://DOI:10.4172/2573-458X.1000138>.
16. Patova E., Sivkov M., Patova A. Nitrogen fixation activity in biological soil crusts dominated by cyanobacteria in the Subpolar Urals (European North-East Russia) // *FEMS Microbiology Ecology.* 2016. V. 92. № 9. P. 1–9. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw131>.
17. Patova E. N., Novakovskaya I. V., Deneva S. V. Influence of edaphic and orographic factors on the diversity of algae communities of biological soil crusts on medallion spots of the Polar and Subpolar Urals // *Eurasian Soil Sci.* 2018. N 3. P. 318-330. <https://DOI:10.1134/S1064229318030109/>
18. Stewart W. D., Fitzgerald G. P., Burris R. H. In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique // *Proceedings National Acad Sci USA,* 1967. V. 58. P. 2071–2078.
19. Diáková K., Biasi C., Čapek P., Martikainen P.J., Marushchak M.E., Patova E.N., Šantrůčková H. Variation in N₂ fixation in subarctic tundra in relation to landscape position and nitrogen pools and fluxes // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* 2016. V. 48. № 1. P. 111–125. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-064>.
20. Yoshitake S., Uchida M., Koizumi H., Kanda H., Nakatsubo T. Production of biological soil crusts in the early stage of primary succession on a High Arctic glacier foreland // *New Phytologist.* 2010. V. 186(2). P. 451-60. <http://www.jstor.org/stable/27797567>.
21. Zielke M., Solheim B., Spjelkavik S., Olsen R. A. Nitrogen fixation in the high arctic: role of vegetation and environmental conditions // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* 2005. V. 37(3). P. 372-8. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0372:NFITHA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0372:NFITHA]2.0.CO;2).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Информация об авторах

Е.Н. Патова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель группы геоботаники и сравнительной флористики;

М.Д. Сивков – ведущий инженер группы геоботаники и сравнительной флористики.

Information about the authors

E.N. Patova – PhD in Biological sciences, leading researcher, head of the geobotany and comparative floristics group;

M.D. Sivkov – leading engineer of the Geobotany and Comparative Floristics group.

Оксана Андреевна Родина¹, Дмитрий Юрьевич Власов², Денис Александрович Давыдов³, Олег Сергеевич Верещагин⁴

^{1, 2, 4} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
^{1, 3} Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия,
¹ o.rodina@ksc.ru <https://orcid.org/0000-0002-6598-6953>
² dmitry.vlasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0455-1462>
³ d.davydov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0866-4747>
⁴ o.vereshchagin@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4811-2269>
Автор, ответственный за переписку: Оксана Андреевна Родина, o.rodina@ksc.ru

ЦИАНОБАКТЕРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ВУЛКАНА ТОЛБАЧИК

Аннотация. В кратком сообщении представлено выявленное разнообразие цианобактерий в субаэральные биопленки с поверхности фумарол в окрестностях вулкана Толбачик, Камчатка. Преобладают неветвящиеся нитчатые формы цианобактерий, формирующие характерные для Камчатки сообщества формидиевого типа. Отмечаются также формирования практически моновидовых матов *Fischerella muscicola* с единичными трихомами *Leptolyngbya* sp.

Ключевые слова: цианобактерии, минерализация, фумаролы, субаэральные биопленки

Благодарности: экспериментальные исследования выполнены в ресурсных центрах СПбГУ «Микроскопия и микроанализа» и «Рентгенодифракционные методы исследования». Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 19-17-00141.

Oksana A. Rodina¹, Dmitry Yu. Vlasov², Denis A. Davydov³, Oleg S. Vereshchagin⁴
^{1, 2, 4} St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
^{1, 3} Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of N.A. Avrorin KSC RAS, Apatity, Russia
¹ o.rodina@ksc.ru <https://orcid.org/0000-0002-6598-6953>
² dmitry.vlasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0455-1462>
³ d.davydov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0866-4747>
⁴ o.vereshchagin@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4811-2269>
Corresponding author: Oksana A. Rodina, o.rodina@ksc.ru

CYANOBACTERIA IN THE TOLBACHIK VOLCANO AREA

Abstract. The short report presents the identified diversity of cyanobacteria in subaerial biofilms from the surface of fumaroles in the Tolbachik volcano area, Kamchatka. Unbranching filamentous forms of cyanobacteria predominate, forming Phormidium-type communities typical for Kamchatka. There are also formations of practically monospecific mats of *Fischerella muscicola* with single trichomes of *Leptolyngbya* sp.

Keywords: cyanobacteria, mineralization, fumaroles, subaerial biofilms

Acknowledgments: Experimental studies were carried out in the resource centers of St. Petersburg State University "Microscopy and Microanalysis" and "X-ray diffraction methods of research". This work was supported by the Russian Science Foundation, project № 19-17-00141.

Всего изучено 17 проб с поверхности субстратов на территории фумарол в окрестностях вулкана Толбачик. Пробы отбирали на конусах различного возраста: извержение 1975 – 1976 (Первый и Второй конуса (9 проб)), извержение 2012 – 2013 (Красный конус, конус Набоко (8 проб)). Сбор образцов производился в конверты из крафт-бумаги и в стерильные контейнеры.

Идентификация видов проведена с использованием световой микроскопии посредством прямого микроскопирования проб и культуральных методов исследования (накопительные культуры с последующим выделением чистых культур) в минеральных средах BG-11 и Z8 [1].

Исследования проводили на световом микроскопе Leica DM1000, электронном микроскопе TM 3000 (HITACHI, Япония) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа (OXFORD, Великобритания), а также на стереомикроскопе M205 C (Leica, Германия). Определение видового состава цианобактерий проведено по морфологическим признакам с использованием стандартных определителей [2, 3, 4]. Верификация видов осуществлялась в соответствии с современной номенклатурой с использованием электронной базы данных AlgaeBase [5]. Рентгенофазовый анализ (РФА) минерализованных образцов выполнен на дифрактометре Miniflex II (Rigaku, Япония).

Всего выявлено 17 видов цианобактерий (Табл. 1). В их числе оказалось два коккоидных вида *Aphanocapsa* sp. и *Chroococcus membraninus*. В основном встречаются нитчатые формы, среди которых преобладают неветвящиеся формы. Как обильные были отмечены виды: *Fischerella muscicola*, *Phormidium* cf. *numidicum*, *Microcoleus autumnalis* и виды рода *Leptolyngbya*. Данные виды способны формировать цианобактериальные маты за счет быстрого роста и переплетения трихомов между собой. Формирование формидиевого типа сообществ характерно для термальных местообитаний Камчатки [6]. Видовой состав на Красном конусе и конусе Набоко шире (8 таксонов), чем в других точках исследования (4-2 таксона). Для Красного Конуса это объясняется повышенным содержанием Са, а на конусе Набоко более влажные условия, чем на Первом и Втором конусах. На Красном конусе (КК-12) также отмечен процесс минерализации гипса (подтвержден РФА) на поверхности грунта, заселенного цианобактериями. На Первом конусе в сообществе цианобактерий доминирует *Phormidium* cf. *numidicum*, а для Второго конуса характерно формирование практически моновидовых биопленок *Fischerella muscicola* с единичными трихомами *Leptolyngbya* sp.

Таблица 1. Список видов цианобактерий, обнаруженных в фумаролах вулкана Толбачик.

Список видов цианобактерий	Конус (номера проб)				
	КК (КК-12, КК-13)	KN (KN-1, 2, 3, 4, 5, 6)	1К (1К-9, 18, 19, 20)	Р-1К-1, Р-1К-2 Точки между 1К и 2К	2К (2К-6, 10, 11)
<i>Aphanocapsa</i> sp.	+	+			
<i>Calothrix elenkinii</i> Kossinskaja		+			
<i>Calothrix</i> sp.	+				
<i>Chroococcus membraninus</i> (Meneghini) Nägeli,	+				
<i>Fischerella muscicola</i> Gomont		+	+		+
<i>Leptolyngbya gracillima</i> (Hansgirg) Anagnostidis & Komárek				+	
<i>Leptolyngbya phormidioides</i> (Anagnostidis) Anagnostidis & Komárek		+			
<i>Leptolyngbya</i> sp.	+		+		+
<i>Microcoleus autumnalis</i> (Gomont) Strunecky,	+	+		+	

Komárek & J.R.Johansen					
<i>Microcoleus lacustris</i> Farlow ex Gomont		+			
<i>Nodosilinea</i> sp.	+				
<i>Nostoc</i> sp. 1	+				
<i>Nostoc</i> sp. 2			+	+	
<i>Phormidium</i> cf. <i>numidicum</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek		+	+		
<i>Schizothrix</i> cf. <i>arenaria</i> Gomont	+				
<i>Stenomitos</i> sp.				+	
<i>Stigonema ocellatum</i> Thuret ex Bornet & Flahault		+			
Всего:	17	8	8	4	4
					2

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rippka R. Isolation and purification of cyanobacteria // *Methods of Enzymology*. 1988. V.167. P. 28–67
2. Синезеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР/ Голлебах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.. – Москва, 1953. Вып. 2. – 653 с.
3. Cyanoprokaryota. 2. Teil. Part: Oscillatoriales. / Komárek J, Anagnostidis K. – Berlin: Spektrum, 2005 – 759 p.
4. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Part: Chroococcales. / Komárek J, Anagnostidis K. – Berlin: Spektrum, 1998 – 548 p.
5. Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2022. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway 9.04.2022. Режим доступа: <https://www.algaebase.org>
6. Никитина В.Н. К флоре Суанорогосарyota озера Карымского (полуостров Камчатка) / В.Н. Никитина, Е.В. Николаева, Е.Г. Лупикина // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3: Биология. – 2003. – Вып. 2. № 11. – С. 33-40.

REFERENCES

1. Rippka R. Isolation and purification of cyanobacteria // *Methods of Enzymology*. 1988. V.167. P. 28–67
2. Blue-green algae. Key to freshwater algae of the USSR / Gollebach M.M., Kosinskaya E.K., Polyansky V.I. - Moscow, 1953. Issue. 2. - 653 p.
3. Cyanoprokaryota. 2.Teil. Part: Oscillatoriales. / Komárek J, Anagnostidis K. - Berlin: Spektrum, 2005 - 759 p.
4. Cyanoprokaryota. 1.Teil. Part: Chroococcales. / Komárek J, Anagnostidis K. - Berlin: Spektrum, 1998 - 548 p.
5. Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2022. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway 9.04.2022. Access mode: <https://www.algaebase.org>
6. Nikitina V.N. To the Cyanoprokaryota flora of Lake Karymskoe (Kamchatka Peninsula) / V.N. Nikitina, E.V. Nikolaev, E.G. Lupikin // *Bulletin of St. Petersburg University. Series 3: Biology*. - 2003. - Issue. 2. No. 11. - S. 33-40.

Информация об авторах

- О.А. Родина** – инженер-исследователь;
Д.Ю. Власов – доктор биологических наук, профессор;
Д.А. Давыдов – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;
О.С. Верещагин – кандидат геолого-минералогических наук, доцент.

Information about the author

O.A. Rodina – Research Engineer;

D.Yu. Vlasov – Doctor of Science (Biology), Professor;

D.A. Davydov – PhD of Science (Biology), Senior Researcher;

O.S. Vereshchagin - PhD of Science (Geology-Minerology), Docent.

**Светлана Александровна Садогурская¹, Татьяна Викторовна Белич²,
Сергей Ефимович Садогурский³**

^{1,2,3} *Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта*

¹ *sadogurska@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-9484>*

² *tbelich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8326-7442>*

³ *ssadogurskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5374-9838>*

**Автор, ответственный за переписку: Светлана Александровна Садогурская,
sadogurska@yandex.ru*

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭПИЛИТНЫХ ЦАНОБАКТЕРИЯ В СУПРАЛИТОРАЛИ ПОЛУОСТРОВА МЕГАНОМ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Аннотация. Охарактеризовано вертикальное распределение Cyanobacteria в супралиторальной зоне полуострова Меганом (Чёрное море). Отмечена специфика распределения по систематическому составу на всем спектре высот. Приведена биоэкологическая характеристика найденных Cyanobacteria, дана оценка их вертикального распределения. На всём обследованном спектре высот преобладают бентосные мезосапробионтные морские виды. Практически всюду отмечены солоноватоводно-морские и пресноводно-солоноватоводные виды. По географической приуроченности на всех высотах преобладают космополиты, бореальные и бореально-тропические виды. Особенности вертикального распределения Cyanobacteria подчёркивают специфичность экологических условий супралиторального биотопа

Ключевые слова: бентос; видовой состав; распределение видов, высота над уровнем моря; эколого-биологические характеристики

Svetlana A. Sadogurskaya¹, Tatiana V. Belich², Sergei E. Sadogurskiy³

^{1,2,3} *Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Centre of RAS, Yalta*

¹ *sadogurska@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-9484>*

² *tbelich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8326-7442>*

³ *ssadogurskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5374-9838>*

**Corresponding author: Svetlana Sadogurskaya, sadogurska@yandex.ru*

ON THE DISTRIBUTION OF EPILITIC CYANOBACTERIA IN THE SUPRALITHORAL OF THE MEGANOM PENINSULA (BLACK SEA)

Abstract. The vertical distribution of Cyanobacteria in the supralittoral zone of the Meganom Peninsula (Black sea) was characterized. The specificity of the distribution by systematic composition in the entire range of heights is noted. Bioecological characteristics of the detected cyanobacteria are given, their vertical distribution is estimated. The noted microphytes belonged to the attached ones; benthic mesosaprobiont marine species predominated in the entire surveyed range of altitudes. Brackish-marine and freshwater-brackish species were noted almost all over the range. Species with cosmopolitan, boreal and boreal-tropical distribution predominated at all altitudes. The features of the vertical distribution of Cyanobacteria emphasize the specificity of the environmental conditions of the supralittoral biotope

Keywords: *benthos; species composition; distribution of species, altitude above sea level; ecological and biological characteristics*

Изучение пространственной динамики видового состава является составной частью исследований в сфере выявления и сохранения биологического разнообразия регионов, это особенно актуально для заповедных объектов.

Полуостров Меганом находится на юго-востоке Крымского полуострова (участок от Судака до Карадага), здесь расположен комплексный памятник природы местного значения «Полуостров Меганом». Полуостров отличается сложным ландшафтным и геологическим строением, делится на две части: западную, более низкую, холмистую, с террасами и оврагами и восточную, гористую. Одноименное название, что и сам полуостров, носит его наивысшая точка – гора Меганом (358 м). Хребет спускается к Чёрному морю четырьмя высокими мысами. Их склоны представляют сложное чередование глинистых сланцев, известняков, песчаников и конгломератов. Склоны полуострова изрезаны оврагами, превращенные эрозией в бедленды [1,2]. Из-за особенностей геоморфологии береговой зоны моря в данном районе хорошо выражена каменистая супралитораль. Ядро альгофлоры здесь составляют *Cyanobacteria*, благодаря которым весь супралиторальный биотоп хорошо идентифицируется визуально как тёмная полоса, расположенная выше уровня морского прибоя. *Cyanobacteria* являются важным компонентом морских прибрежных ландшафтов и их видовой состав весьма разнообразен

Исследования проводили на полуострове Меганом в супралиторальной зоне моря, на участках естественного валунно-глыбового и глыбового навалов, расположенных на мысах Рыбачий и Меганом. Для изучения вертикального распределения *Cyanobacteria* в супралитории, альгологические пробы отбирались в летний период, с обращённых к морю отвесных поверхностей глыб в интервале высот 0,1; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 и 1,5 м над уровнем моря (н.у.м.). Идентификация видов и внутривидовых таксонов в ранге вида проводилась по соответствующим руководствам [3-10]. Уточнение номенклатуры и систематического положения приведены в соответствии с последними сводками [11]. Приведены некоторые эколого-биологические характеристики видов [12, 13], при определении редкости видов использованы методические подходы авторов [14].

На морской супралитории п-ва Меганом при изучении вертикального распределения отмечено 25 видов *Cyanobacteria*. Количество видов на различных высотах колеблется от 7 до 13, причём минимальное значение отмечено на высоте 0,9 м н.у.м. (табл. 1).

Виды, отмеченные на всех высотах, относятся к типичным для супралиторальной зоны [15-17]. Это *Calothrix scopulorum*, *Leptolyngbya rivulariarum*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Chroococcus turgidus*, *Lyngbya drouetii* и *Gloeocapsa punctata*. Отмечено, что характерные для супралитории виды *Entophysalis granulose*, *Nostoc linckia*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Gloeotheca confluens*, *Calothrix parva*, *Pseudophormidium battersii* и *Rivularia polyotis* при данных исследованиях найден только в нижней части супралитории (0,1-0,3 м н.у.м.). В верхней части супралитории отмечены *Calothrix brevissima*, *Calothrix fusca*, *Chroococcus minimus*, *Chroococcus minor*.

Зарегистрированы виды, относящиеся к категории редких и нуждающихся в охране: *Entophysalis granulosa*, *Gloeocapsa punctata*, *Lyngbya drouetii*.

При изучении вертикального распределения *Cyanobacteria* полуострова Меганом отмечено 25 видов *Cyanobacteria*, из 2 подклассов, 5 порядков, 13 семейств и 17 родов. Отмечено, что виды подкласса *Oscillatoriophyceae* преобладают практически на всех высотах. Максимальные значения подкласса *Synechococcosphyceae* отмечен на высотах 0,6 м и 1,5 м н.у.м.

Распределение порядков на всех высотах не равномерно, изменяется от 2 до 4. Высокими показателями отличаются порядки Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales, и Pleurocapsales.

Количество семейств по высотам изменяется от 3 до 5. Ведущими семействами являются Chroococcaceae, Merismopediaceae, Oscillatoriaceae, Huellaceae и Rivulariaceae.

Таблица 1

Вертикальное распределение видового состава Cyanobacteria на различной высоте в супралиторальной зоне п-ва Меганом

Таксон	Высота, м н.у.м.					
	0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
<i>Aphanocapsa inserta</i> (Lemmerm.) Cronberg et Komárek	+	+	+	+	+	+
<i>Calothrix brevissima</i> G.S.West	-	-	-	-	+	-
<i>Calothrix fusca</i> Bornet et Flahault	-	-	-	-	+	-
<i>Calothrix parietina</i> Thuret ex Bornet et Flahault	-	+	-	-	-	-
<i>Calothrix parva</i> Ercegovic	+	+	-	-	-	-
<i>Calothrix scopulorum</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault	+	+	+	+	+	+
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann	-	-	-	-	-	+
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli	-	-	-	-	+	-
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	-	+	-	+	+	+
<i>Chroococcus varius</i> A.Braun in Rabenhorst	-	-	+	-	-	-
<i>Dichothrix gypsophila</i> Born. et Flah.	-	+	-	-	-	-
<i>Entophysalis granulosa</i> Kützing	-	+	-	-	-	-
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli	+	+	+	-	+	+
<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i> (Thuret) Geitler ex Komárek	+	+	+	+	+	+
<i>Gloeothece confluens</i> Näg.	+	-	-	-	-	-
<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Gomont) Anagn. et Komárek	+	-	-	-	-	-
<i>Leptolyngbya halophila</i> (Hansg. ex Gom.) Komárek et Anagn.	-	-	+	-	-	-
<i>Leptolyngbya rivulariarum</i> (Gom.) Anagn. et Kom	+	+	-	+	+	+
<i>Lyngbya drouetii</i> G.De Toni	-	+	+	+	+	-
<i>Nostoc linckia</i> (Roth) Born. et Flah.	+	-	-	-	-	-
<i>Pleurocapsa entophysaloides</i> Setchell et N.L.Gardner	-	-	-	+	+	-
<i>Pleurocapsa fuliginosa</i> Hauck	-	-	+	-	-	-
<i>Pseudophormidium battersii</i> (Gomont) Anagn.	+	+	+	-	-	-
<i>Rivularia polyotis</i> (Ag.) Born. et Flah.	+	-	-	-	-	-
<i>Schizothrix lardacea</i> Gomont	-	+	+	-	-	-
	11	13	10	7	11	7

Количество родов по высотам от 4 до 8. Везде и на всех высотах зарегистрированы представители родов *Aphanocapsa*, *Calothrix* и *Leptolyngbya*, почти на всех высотах виды родов *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeocapsopsis* и *Lyngbya*. Характерные для супралиторальной зоны представители родов *Entophysalis*, *Nostoc*, *Rivularia* отмечены в нижней части спектра высот (0,1-0,3 м н.у.м.).

Флора Cyanobacteria супралиторальной зоны полуострова Меганом по субстратной приуроченности представлена прикрепленными видами (табл. 2). На всех высотах преобладают бентосные виды (от 25,0% до 50,0%), планктонно-бентосный, эпифит и пресноводный только на высоте 0,1 м н.у.м., планктонно-бентосные и эпифитные, почвенные отмечены практически на всех высотах (от 7,1% до 25,0%), остальные определенной приуроченности не показывают и количество видов изменяется от 7,1% до 12,5%.

Таблица 2

Биоэкологические характеристики Cyanobacteria на различной высоте в супралиторальной зоне п-ва Меганом

Характеристики		Количество видов, ед/%						
		Высота, н.у.м., м						
		0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	
Приуроченность к	субстрату	Бентосный	25,0	42,9	50,0	42,9	36,4	37,5
		Бентосный, почвенный	16,7	21,4	30,0	0	18,2	0
		Планктонно-бентосный	8,3	7,1	10,0	14,3	9,1	25,0
		Планктонно-бентосный, почвенный	0	0	0	14,3	0	0
		Эпифитный	0	7,1	0	0	0	12,5
		Эпифитный, почвенный	8,3	7,1	0	14,3	18,2	12,5
		Планктонно-бентосный, эпифитный	8,3	7,1	10,0	0	0	12,5
		Планктонный, почвенный, эпифитный	8,3	0	0	0	0	0
		Пресноводный	8,3	0	0	0	0	0
	место-обитанию	Морской	25,0	42,9	60,0	71,4	45,5	37,5
		Солоноватоводный - морской	16,7	14,3	10,0	0	9,1	0
		Пресноводно-солонатоводный	8,3	14,3	10,0	14,3	9,1	25,0
		Пресноводный	25,0	7,1	10,0	0	0	0
Географическая характеристика	Космополит	8,3	28,6	30,0	42,9	27,3	50,0	
	Бореальный	16,7	28,6	20,0	14,3	9,1	0	
	Бореально-тропический	33,3	35,7	40,0	42,9	27,3	50,0	
Галобность	Полигалоб	8,3	0	0	0	9,1	0	
	Олигогалоб-индифферент	8,3	7,1	10,0	14,3	9,1	12,5	
	Олигогалоб-галофил	8,3	14,3	20,0	28,6	18,2	50,0	
Сапробионность	Ксеносапробионт	0	7,1	0	0	0	0	
	Ксено-бетамезосапробионт	0	7,1	0	0	0	12,5	
	Олигосапробионт	0	0	0	0	9,1	0	
	Олиго-бетамезосапробионт	0	0	10,0	14,3	0	0	
	Бета-олигосапробионт	8,3	0	0	0	0	0	

	Бетамезосапробионт	8,3	7,1	10,0	14,3	18,2	12,5
	Бета-альфамезосапробионт	8,3	0	0	0	0	12,5

По галобности преобладающие значения имеет группа морских (отмечены на всех высотах от 25,0% до 71,4%), пресноводно-солонатоводные – на всех высотах от 8,3% до 25,0%, причём максимальные значения на высоте 1,5 м н.у.м. Интересно, что пресноводные виды отмечены на высотах 0,1-0,6 м н.у.м., максимальные значения на 0,1 м н.у.м. (25,0%). Остальные виды относятся к переходным комплексам, количество видов колеблется от 7,1% до 16,7%.

В исследуемой супралиторали найдены типичные представители различных галобных групп. Обитающие в более пресных водах, олигогалоб-галофилы и олигогалоб-индифференты, зафиксированы на всех высотах (8,3-28,6%), тах значения (50,0%) у галофилов на высоте 1,5 м н.у.м. В тоже время, полигалобы, населяющие воды с высокой соленостью, отмечены на граничных высотах 0,1 м и 1,2 м н.у.м. (8,3-9,1%).

По географической приуроченности на все высотах отмечены космополиты, бореальные и бореально-тропические виды от 8,3% до 50,0%. На высоте 1,5 м н.у.м. высокий процент космополитных и бореальных видов (по 50,0%).

Большинство отмеченных видов *Cyanobacteria* относятся к мезосапробионтному комплексу. На всех высотах найдены бетамезосапробионты от 8,3% до 18,2%, а также на высотах 0,6 и 0,9 м н.у.м. – олиго-бетамезосапробионт (10,0-14,3%); на высотах 0,1 м и 1,5 м н.у.м. – бета-альфамезосапробионт; на высоте 0,3 м н.у.м. ксеносапробионт – на высоте 0,3 м и 1,5 м н.у.м. ксено- бетамезосапробионты, на высоте 1,2 м н.у.м. – олигосапробионт.

Анализ вертикального (0,1; 0,3; 0,6; 0,9 и 1,2 м н.у.м.) распределения *Cyanobacteria* на морской супралиторали полуострова Меганом показывает, что на различных высотах количество видов варьирует от 7 до 13 (min на 0,9 м и 1,5 м н.у.м, тах на 0,3 м н.у.м. Виды, относящиеся к категории редких и нуждающихся в охране, зарегистрированы на всех высотах, наибольшее количество на высоте 0,3 м н.у.м. Отмечено 25 видов *Cyanobacteria*, из 2 подклассов, 5 порядков, 13 семейств и 17 родов. Отмечено, что виды подкласса *Oscillatoriothycidae* преобладают почти на всех высотах. Высокий вклад представителей подкласса *Synechococcosphycidae* отмечен на высотах 0,6 и 1,5 м н.у.м. Распределение порядков на всех высотах не равномерно, высокими показателями отличаются порядки *Chroococcales*, *Oscillatoriales*, *Nostocales*, *Pleurocapsales*. Ведущими семействами являются *Chroococcaceae*, *Merismopediaceae*, *Oscillatoriaceae*, *Hyellaceae* и *Rivulariaceae*. Везде и на всех высотах представители родов *Aphanocapsa*, *Calothrix* и *Leptolyngbya*, почти на всех высотах виды родов *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeocapsopsis* и *Lyngbya*. В нижней части спектра высот отмечены *Entophysalis*, *Nostoc*, *Rivularia*.

Флора *Cyanobacteria* по субстратной приуроченности представлена прикрепленными видами. На всех высотах преобладают бентосные виды, только на высоте 0,1 м н.у.м. зарегистрированы планктонно-бентосный, эпифит и пресноводный вид. Планктонно-бентосные и эпифитные, почвенные отмечены практически на всех высотах, остальные определенной приуроченности не показывают. По галобности преобладающие значения на всех высотах имеет группа морских и пресноводно-солонатоводных видов. Пресноводные виды отмечены только в нижней части высот. В исследуемой супралиторали найдены типичные представители различных галобных групп. Зафиксированы на всех высотах олигогалоб-галофилы и олигогалоб-индифференты, тах значения у галофилов, на высоте 1,5 м н.у.м., полигалобы отмечены на 0,1 м и 1,2 м н.у.м. По географической приуроченности на все высотах отмечены космополиты, бореальные и бореально-тропические виды. На высоте 1,5 м н.у.м. высокий процент космополитных и бореальных видов. Большинство отмеченных видов *Cyanobacteria* относятся к мезосапробионтному комплексу.

Показано, что с высотой изменяется соотношение эколого-флористических показателей. Особенности фитогеографического состава флоры нижних горизонтов обследованного спектра высот вероятно связаны с более низкой температурой субстрата в

условиях максимального орошения прибоем. Общее распределение по всему спектру высот и преобладание прикрепленных бентосных, морских и солоноватоводных форм подтверждает специфичность супралиторальной микроальгофлоры данного биотопа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Подгородецкий П.Д. Крым. Природа: Справочник. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
2. Современное состояние береговой зоны Крыма / под ред. д-ра геогр. наук Ю.Н. Горячкина. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. 252 с.
3. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В., Приходькова Л.П. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. – Т. 1: Синьозелені водорості – Суанophyta. – Ч. 1: Загальна характеристика синьозелених водоростей Суанophyta. Клас Хроококкові – Chroococcosphyseae. Клас хамесифонові – Chamaesiphonophyseae. Київ: Наук. думка, 1984. 388 с.
4. Кондратьева Н.В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. – Т. 1: Синьозелені водорості – Суанophyta. – Ч. 2: Клас гормогонієві – Hormogoniophyseae. Київ: Наук. думка, 1968. 525 с.
5. Komarek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 – Chroococcales // Arch. Hydrobiol. 1986. Suppl. 73, Hf. 2. (Algological Studies 43). P. 157-226.
6. Komarek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales // Arch. Hydrobiol. 1989. Suppl. 82, Hf. 3. (Algological Studies 56). P. 247-345.
7. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena.: Gustav Fisher Verlag., 1999. 548 p.
8. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. II. Oscillatoriales. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena - Stuttgart - Lubek - Ulm: Gustav Fisher, 2005. 759 p.
9. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014 using a polyphasic approach / J Komárek., J. Kaštovský, J. Mareš, J. R. Johansen // Preslia. 2014. Suppl. 86(4). P. 295-235.
10. Silva P.C., Basson P.W., Moe R.L. Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. Berkeley – Los Angeles – London: California press, 1996. 1259 p.
11. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. [World-wide electronic publication]. – National University of Ireland, Galway. 2022. <http://www.algaebase.org> (Searched: 25.03.2022).
12. Баринова С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа, Киев: University of Haifa Publisher, 2019. 367 с.
13. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
14. Паламарь-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М., Вассер С.П. К вопросу о составлении «Красных списков» водорослей Украины // Альгология. 1998. Т. 8, № 4. С. 341-350.
15. Садогурская С.А. Суанophyta супралиторальной зоны полуострова Меганом (Чёрное море) // Сборник научных трудов ГНБС. 2004. Т. 123. С. 59-67.
16. Садогурская С.А. Суанophyta морской каменистой супралиторали Крыма: дисс... канд. биол. наук: спец. 03.00.05. Ботаника / Садогурская Светлана Александровна. Ялта: ГНБС, 2005. 395 с.
17. Садогурская С.А., Белич Т.В., Садогурский С.Е. Флора Суанobacteria морской каменистой супралиторали полуострова Меганом (Чёрное море) // Бюлл. ГНБС. 2020. Вып. 137. С. 57-66.

REFERENCES

1. Podgorodeckij P.D. Krym. Priroda: Spravochnik. Simferopol': Tavriya, 1988. 192 s.
2. Sovremennoe sostoyanie beregovoj zony Kryma / pod red. d-ra geogr. nauk YU.N. Goryachkina. Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2015. 252 s.
3. Kondrat'eva N.V., Kovalenko O.V., Prihod'kova L.P. Vznachnik prisno-vod-nih

vodorostej Ukraïns'koï RSR. – T. 1: Sin'ozeleni vodorosti – Cyanophyta. – CH. 1: Zagal'na harakteristika sin'ozelenih vodorostej Cyanophyta. Klas Hrookokkovi – Chroococcophyceae. Klas hamesifonovi – Chamaesiphonophyceae. Kiïv: Nauk. dumka, 1984. 388 s.

4. Kondrat'eva N.V. Vznachnik prisnovodnih vodorostej Ukraïns'koï RSR. – T. 1: Sin'ozeleni vodorosti – Cyanophyta. – CH. 2: Klas gormogonievì – Hormogoniophyceae. Kiïv: Nauk. dumka, 1968. 525 s.

5. Komarek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 – Chroococcales // Arch. Hydrobiol. 1986. Suppl. 73, Hf. 2. (Algological Studies 43). P. 157-226.

6. Komarek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales // Arch. Hydrobiol. 1989. Suppl. 82, Hf. 3. (Algological Studies 56). P. 247-345.

7. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena.: Gustav Fisher Verlag., 1999. 548 p.

8. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. II. Oscillatoriales. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena - Stuttgart - Lubek - Ulm: Gustav Fisher, 2005. 759 p.

9. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014 using a polyphasic approach / J Komárek., J.Kaštovský, J. Mareš, J. R. Johansen // Preslia. 2014. Suppl. 86(4). P. 295-235.

10. Silva P.C., Basson P.W., Moe R.L. Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. Berkeley – Los Angeles – London: California press, 1996. 1259 p.

11. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. [World-wide electronic publication]. – National University of Ireland, Galway. 2022. <http://www.algaebase.org> (Searched: 25.03.2022).

12. Barinova S.S., Belous E.P. Carenko P.M. Al'goindikaciya vodnyh ob"ektov Ukrainy: metody i perspektivy. Hajfa, Kiev: University of Haifa Publisher, 2019. 367 s.

13. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej – indikatorov okružhayushchej sredey. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 s.

14. Palamar'-Mordvinceva G.M., Carenko P.M., Vasser S.P. K voprosu o sostavlenii «Krasnyh spiskov» vodoroslej Ukrainy // Al'gologiya. 1998. T. 8, № 4. S. 341-350.

15. Sadogurskaya S.A. Cyanophyta supralitoral'noj zony poluostrova Meganom (CHyornoe more) // Sbornik nauchnyh trudov GNBS. 2004. T. 123. S. 59-67.

16. Sadogurskaya S.A. Cyanophyta morskoj kamenistoj supralitorali Kryma: diss... kand. biol. nauk: spec. 03.00.05. Botanika / Sadogurskaya Svetlana Aleksandrovna. YAlta: GNBS, 2005. 395 s.

17. Sadogurskaya S.A., Belich T.V., Sadogurskij S.E. Flora Cyanobacteria morskoj kamenistoj supralitorali poluostrova Meganom (CHyornoe more) // Byull. GNBS. 2020. Vyp. 137. S. 57-66.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

С. А. Садогурская, канд. биол. наук, старший научный сотрудник;

Т. В. Белич, канд. биол. наук, старший научный сотрудник;

С. Е. Садогурский, канд. биол. наук, старший научный сотрудник.

Information about the authors

S.A. Sadogurskaya – Ph.D. in Biology, Assoc. Prof.

T.V. Belich – Ph.D. in Biology, Assoc. Prof.

S.E. Sadogurskiy – Ph.D. in Biology, Assoc. Prof.,

Людмила Леонидовна Смирнова

*Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия, inik48@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3225-4246>*

ЦИАНОБАКТЕРИИ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ПУТИ МИГРАЦИИ

Аннотация. Приведены результаты изучения разнообразия цианопрокариот, присутствующих в виде неактивных форм (гормогонии, споры) и популяций в атмосферных выпадениях на побережье г. Севастополя. Встречаются как морские, так и пресноводные представители порядков Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales, Synechococcales. Рассмотрены основные источники их поступления в нижние слои тропосферы – прибрежные морские акватории, озера и лиманы Крыма. Отмечается, что развитие цианобактерий, попадающих в водохранилища и реки севастопольского региона с атмосферными выпадениями, может влиять на качество воды.

Ключевые слова: Севастопольский регион, дождь, снег, сезон, направление ветра, ассоциации цианобактерий и микроводорослей

Lyudmila L. Smyrnova

*Institute of Natural & Technical Systems, Sevastopol, Russia, inik48@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3225-4246>*

CYANOBACTERIA IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON THE SOUTHWEST COAST OF THE CRIMEAN PENINSULA: BIODIVERSITY, MIGRATION ROUTES

Abstract. The results of studying the diversity of cyanoprokaryotes present as inactive forms (hormones, spores) and populations in atmospheric precipitation on the coast of Sevastopol are presented. There are both marine and freshwater representatives of the orders Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales, Synechococcales. The main sources of their entry into the lower layers of the troposphere – coastal marine waters, lakes and estuaries of the Crimea are considered. It is noted that the development of cyanobacteria that penetrate into the water of rivers and reservoirs with atmospheric precipitation in the Sevastopol region can affect water quality.

Keywords: Sevastopol region, rain, snow, season, wind direction, associations of cyanobacteria and microalgae

Один из путей расширения ареала распространения цианопрокариот в биосфере – поступление спор, гормогоний и жизнедеятельных клеток из мест обитания в нижние слои тропосферы, перенос в атмосферных потоках и выпадение на подстилающие поверхности с атмосферными осадками [1, 2, 3, 4]. Атмосферные выпадения – дожди различной интенсивности, снег являются источником пресной воды на Крымском полуострове и в севастопольском регионе [5]. Они пополняют водохранилища, поддерживают уровень крымских рек, родниковых и подземных вод – основных источников питьевой водой для населения. Развитие цианобактерий, попадающих в водную среду с атмосферными осадками, сопровождается изменением химического состава пресной воды. Поэтому изучению количества выпадающих осадков, их химического и микробиологического составов уделяется большое внимание [4, 6, 7, 8].

Материалы и методы

Материалом для изучения разнообразия цианобактериот в атмосферных выпадениях послужили пробы, отобранные на территории Морской гидрометеорологической станции «Севастополь» (44°36'54" N; 33°32'00" E). Место отбора проб находилось под влиянием как континентальных ветров восточных (В), северных (С) и северо-восточных (СВ) румбов, так и морских западных (З), юго-западных (ЮЗ) и южных (Ю) ветров, приносящих осадки. Пробы дождевых выпадений собирались в стеклянные емкости, которые устанавливались только на период выпадения дождя или снега. Возможное присутствие в дождевой воде и снеге (талая вода) представителей Cyanoprokaryota изучалось сразу после отбора проб и после 2-3 недель культивирования при естественном солнечном освещении. Цианобактерии – оксигенные фототрофные прокариоты, использующие для своей жизнедеятельности энергию солнечного света. Культивирование проводили в стерильных пробирках, в которые добавлялись 3-5мл аликвот атмосферных выпадений без добавления питательных сред. Исследование объектов проводилось под световым микроскопом «БИОЛАМ-212» методом "раздавленной капли" при увеличении x400, идентификация – по стандартным морфологическим признакам: морфология клетки, организация колоний и тип деления клеток по определителям [9, 10].

Полученные результаты

Сезонное распределение количества выпадающих осадков в севастопольском регионе характеризуется неравномерностью и определяется атмосферной циркуляцией, для которой характерны сезонные перестройки [11]. Минимальные объемы дождевых выпадений приходятся на весенний сезон и лето. В летний период уменьшается количество выпадающих дождей, преобладают кратковременные дождевые выпадения. Для осеннего сезона характерны продолжительные дожди и количество осадков возрастает на 30% по сравнению с летом. В зимние месяцы и первой половине марта наблюдается непродолжительное выпадение снега.

При микрокопировании сразу после отбора в 90-95% исследуемых проб отмечались только споры, цисты микроводорослей, единичные диатомеи, гифы и конидии микромицетов, фрагменты разрушенных слоевищ и проростки многолетних бентосных водорослей из семейства Ulvaceae, [4, 8]. Но в некоторых пробах дождей, приносимых как морскими, так и континентальными ветрами, встречались популяции цианобактерий, рис.1.

В весенний, летний и осенний периоды доминировали *Microcystis sp.*, *Synechococcus sp.*, *Nostoc sp.*, *Nodularia* Mertes 1822, *Calothrix* Bornet & Flahault 1886, *Tolypothrix sp.* Современные глобальные климатические изменения, эксплуатационная нагрузка и антропогенное загрязнение водных ресурсов способствуют вспышкам размножения микроводорослей и цианобактерий в прибрежных морских акваториях, озерах, лиманах и грязевых вулканах Крыма [3, 4, 12, 13, 14, 15]. В период их активного цветения, при сильном волнении и штормах, частицы образующихся матов и плотных скоплений клеток могут подхватываться ветром, переноситься в атмосферных потоках.

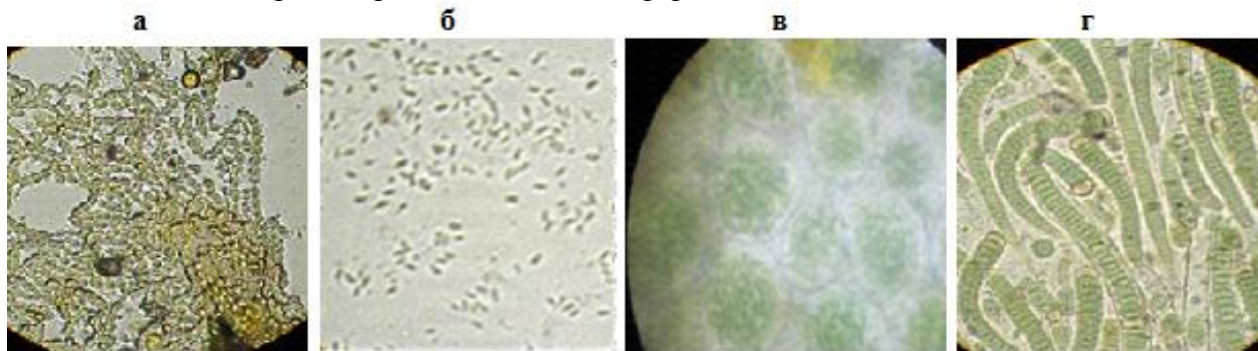


Рис. 1 Величина рН дождевых выпадений в присутствии популяций цианобактерий:

– *Nostoc* Vaucher ex Bornet & Flahault 1886, pH 8,25 (а); – *Synechococcus* Nägeli 1849, pH 7,68 (б); – *Microcystis* Lemmermann 1907, pH 7,80 (в); – *Tolypothrix* Kützing ex Bornet et Flahault 1888), pH 7,61(г)

Многолетними исследованиями качества дождевой воды по величине pH показано, что в течение года на побережье г. Севастополя для 63% дождевых выпадений она изменяется от слабокислой до нейтральной в диапазоне 6.00 – 7.25 ед. pH [6]. Подщелачивание дождевой воды метаболитами цианобактерий (рис.1), синтез ими токсинов [16] могут ухудшать качество воды в водохранилищах и реках. Качество этих пресных вод, которые используются для нужд населения, регламентируются СанПин Питьевая вода [17].

После продолжительного (до 3 недель) культивирования в пробах дождевой воды и снега (таяя вода) при микрокопировании отмечено высокое разнообразие цианобактерий. Доминировали представители порядков Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales, Synechococcales. В дождевой воде чаще встречались цианобактерии родов *Microcystis*, *Synechococcus*, *Nodularia*, *Calothrix*, *Arthrospira* Sitzenberger ex Gomont 1892. В снеге (таяя вода), который в некоторые годы выпадает не только в зимний сезон, но и первой половине марта преобладали цианобактерии *Synechococcus sp.* и *Microcystis sp.* В выпадениях дождя со снегом в феврале-марте встречаются популяции *Synechococcus sp.* клетки которых образуют цепочки, рис 2 а, б.

В зимне-весенний период в атмосферных выпадениях, приносимых южными, юго-восточными ветрами (фенами) с Крымских гор [11], при которых температура воздуха возрастает до 10-12°C, отмечаются ассоциации цианобактерий с различными микроводорослями, рис.2 в, г.

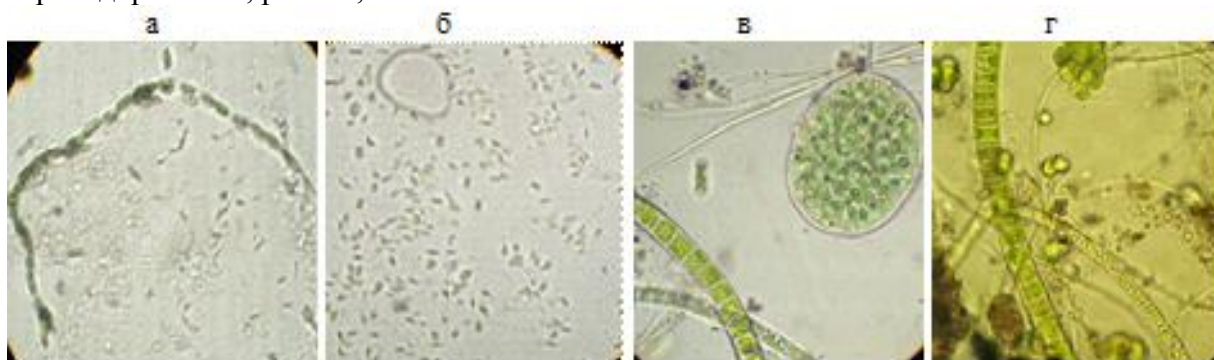


Рис.2 Цианобактерии в пробах атмосферных выпадений в феврале-марте после культивирования:

– *Synechococcus sp.* (а, б); – ассоциации с зелеными микроводорослями (в, г)

В летние и осенние месяцы в атмосферных осадках разнообразие цианобактерий и микроводорослей возрастает, рис. 3.

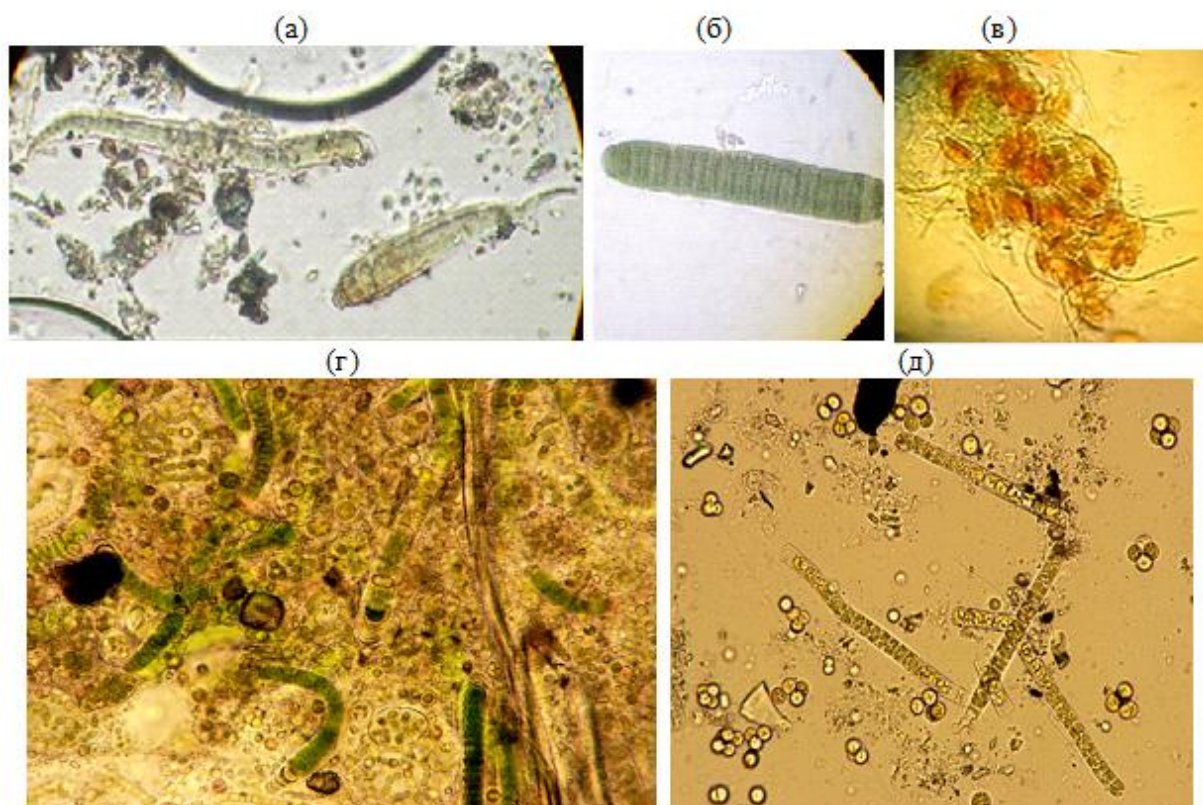


Рис.3 Цианобактерии в дождевой воде после культивирования в летне-осенний сезоны:
 – *Calothrix* sp. (а); – *Lyngbya* Agardh ex Gomont 1892 (б); – ассоциация цианобактерий с диатомеями (в); ассоциации зеленых микроводорослей и цианобактерий (г, д)

Цианобактерии родов *Microcystis*, *Synechococcus*, *Nodularia*, *Calothrix* распространены в прибрежных акваториях Черного моря, Азовском и Каспийском морях [12, 13, 14]. Споры этих прокариот переносятся в севастопольский регион ветрами восточных, юго-западных и южных румбов в летне-осенний сезоны. Поступление в нижние слои тропосферы и миграция *Nostoc* sp., начинается с поверхности гипергалинных озер, расположенных на восточном, юго-восточном, западном побережьях Крыма [14, 18]. В морских прибрежных акваториях севастопольского региона доминируют представители порядков Oscillatoriales (рода *Arthrospira*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*), Nostocales (рода *Anabaena* Bory de Saint-Vincent ex Bornet et Flahault 1886, *Calothrix*, *Tolypothrix*) и Chroococcales (род *Microcystis*) [13]. Споры и гормогонии этих цианопрокариот могут поступать в приземные слои тропосферы, мигрировать в потоках ветров южных, западных, юго-западных румбов и вымываться атмосферными осадками на различных участках севастопольского региона.

Активные и неактивные формы цианобактерий, мигрирующие в нижних слоях тропосферы, поддерживают численность и биоразнообразие фотосинтезирующих граматрицательных прокариот водных и наземных экосистем [8, 19]. Однако, загрязнение дождевой воды, пополняющей реки и водохранилища Крыма и севастопольского региона, представителями семейств Cyanobacteriophyta – потенциальных продуцентов цианотоксинов (нейротоксины, цитотоксины, эндотоксины и гепатотоксины) [16, 20], их цветение отрицательно влияет на качество воды, особенно при ее использовании без необходимой обработки, и могут представлять опасность для человека и животных.

©Смирнова Л.Л. 2022

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics / O. Möhler, P. J. DeMott, G. Vali & Z. Levin // Biogeosciences. 2007. Vol. 4. P. 1059-1071.

2. Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an Intense African dust event in the eastern Mediterranean / P. N. Polymenakou, M. Mandalakis, E. G. Stephanou & A. Tselepidis // *Environmental Health Perspectives*. 2008. Vol. 116, no. 3. P. 292-296.
3. The Kerch-Taman volcanic province: microbiota from " the atmosphere – volcanic mud discharge" contact zone / L. L. Smyrnova, M. V. Popov, V. A. Alekseev & N. A. Bobko // *From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary: Proceedings of the First Plenary Meeting and Field Trip*. Tbilisi, Georgia (October 12-19. 2013) Tbilisi: LTD Sachino, 2013. P. 137-138.
4. The impact of atmospheric precipitation (rainfalls) on the sea-surface microlayer in the Sevastopol coastal waters (Crimea, The Black Sea) / L. Smyrnova, E. Katunina, A. Rjabini & I. Anninskaja // *Ecologica Montenegrina*. 2017. no. 14. P. 30-38.
5. Сигора Г. А. Хоменко Т. Ю., Ничкова Л. А. Разработка методического обеспечения экологического мониторинга подземных вод севастопольского региона // *Системы контроля окружающей среды*. 2020. № 1. С. 5-11. [https:// doi. org //10.33075/2220-5861-2020-2-5-12](https://doi.org/10.33075/2220-5861-2020-2-5-12).
6. Katunina E. V., Smyrnova L. L. Atmospheric precipitation (rain-water) as a source of contamination of the Sevastopol coastal waters by detergents and microalgae // *Geographic information technologies and prediction of extreme events: Collection of articles of the III International Conf.* (September 2015, Durso – Rostov-on-Don, Russia). Rostov-on-Don: Publishing house SSC RAS, 2015. P. 70-79.
7. Reichwaldt E. S., Ghadouani An. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics // *Water research*. 2012. Vol. 46. P. 1372-1393. [https:// doi. org //10.1016/j.watres.2011.11.052](https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.052).
8. Smirnova L. L., Rjabinin A. I. Microbiological and Elemental Composition of Aerosols Falling on the Crimean Coast of the Black Sea // *Paleontology Journal*. 2013. Vol. 47, no. 10. P. 1198-1204 [https:// doi. org //10.1134/S0031030113100109](https://doi.org/10.1134/S0031030113100109).
9. Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. Spectrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin, 1999-2000. P. 224-324.
10. Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 2. Teil: 2nd Part: Oscillatoriales /Edit. by V. Biidel, L. Krienitz, G. Gartner, M. Schagerl. Elsevier GmbH, Munchen, 2005. P. 574-660.
11. Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н., Липченко М. М. Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2003. Вып. 9. С. 13-28.
12. Александров Б. Г., Теренько Л. М., Нестерова, О. Л. Первый случай цветения воды в Черном море водорослью *Nodularia spumigena* Mert ex. Bornet Flahaut (Cyanoprocaryota // *Альгология*. 2012. Т. 22, № 2. С.152-165.
13. Andreeva N. A., Melnikov V. V., Snarskaja D. D. The role of cyanobacteria in marine ecosystems // *Russian Journal of Marine Biology* 2020. Vol. 46, no. 3. P. 154-165. [https:// doi. org /10.1134/S1063074020030025](https://doi.org/10.1134/S1063074020030025).
14. Гольдин Е. Б. Массовые виды цианобактерий и микроводорослей в экосистемах: межвидовые взаимоотношения и ко-эволюционный процесс // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2012. Вып. 7. С. 114-125.
15. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В. Микроводоросли грязевого вулкана Булганакского сопочного поля Крымского полуострова // *Морской биологический журнал*. 2020. Т. 5, № 1. С. 64-77. [https:// doi. org // 10.21072/mbj.2020.05.1.07](https://doi.org/10.21072/mbj.2020.05.1.07).
16. Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Токсигенные цианобактерии: распространение, регуляция синтеза токсинов, способы их деструкции // *Вода: химия и экология*. 2017. № 11-12. С. 125-139.
17. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01, 1 января 2002 г.

18. Ануфриева Е. В., Шадрин Н. В., Шадрина С. Н. История изучения биоразнообразия гиперсоленых водоемов Крыма // Аридные экосистемы. 2017. Т. 7, №3. С. 55-61.
19. Womack A. M. Bohannan B.J., and Green J.L. Biodiversity and biogeography of the atmosphere // Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences. 2010. Vol. 365. P. 3645-3653.
20. Mazur-Marzec H. Characterization of phycotoxins produced by cyanobacteria // International Academic Journal of Oceanography and Hydrobiology. 2006. Vol. 35. P. 85-109.

REFERENCES

1. Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics / O. Möhler, P. J. DeMott, G. Vali & Z. Levin // Biogeosciences. 2007. Vol. 4. P. 1059-1071.
2. Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an Intense African dust event in the eastern Mediterranean / P. N. Polymenakou, M. Mandalakis, E. G. Stephanou & A. Tselepidis // Environmental Health Perspectives. 2008. Vol. 116, no. 3. P. 292-296.
3. The Kerch-Taman volcanic province: microbiota from " the atmosphere – volcanic mud discharge" contact zone / L. L. Smyrnova, M. V. Popov, V. A. Alekseev & N. A. Bobko // From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary: Proceedings of the First Plenary Meeting and Field Trip. Tbilisi, Georgia (October 12-19. 2013). Tbilisi: LTD Sachino, 2013. P. 137-138.
4. The impact of atmospheric precipitation (rainfalls) on the sea-surface microlayer in the Sevastopol coastal waters (Crimea, The Black Sea) / L. Smyrnova, E. Katunina, A. Rjabini & I. Anninskaja // Ecologica Montenegrina. 2017. No. 14. P. 30-38.
5. Sigora G. A., Khomenko T. Yu., Nichcova L.A. Development of methodological support for environmental monitoring of groundwater in the Sevastopol region //Monitoring systems of environment. 2020. No 1. С. 5-11. [https:// doi. org /10.33075/2220-5861-2020-2-5-12](https://doi.org/10.33075/2220-5861-2020-2-5-12). (in Russ.).
6. Katunina E. V., Smyrnova L. L. Atmospheric precipitation (rain-water) as a source of contamination of the Sevastopol coastal waters by detergents and microalgae // Geographic information technologies and prediction of extreme events: Collection of articles of the III International Conf. (September 2015, Durso – Rostov-on-Don, Russia). Rostov-on-Don: Publishing house SSC RAS, 2015. P. 70-79.
7. Reichwaldt E. S., Ghadouani An. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics // Water research. 2012. Vol. 46. P. 1372-1393. [https:// doi. org /10.1016/j.watres.2011.11.052](https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.052).
8. Smirnova L. L., Rjabinin A. I. Microbiological and Elemental Composition of Aerosols Falling on the Crimean Coast of the Black Sea // Paleontology Journal. 2013. Vol. 47, no. 10. P. 1198-1204 [https:// doi. org /10.1134/S0031030113100109](https://doi.org/10.1134/S0031030113100109).
9. Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. Spectrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin, 1999-2000. P. 224-324.
10. Komárek J. Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 2. Teil: 2nd Part: Oscillatoriales /Edit. by B. Biiidel, L. Krienitz, G. Gartner, M. Schagerl. Elsevier GmbH, Munchen, 2005. P. 574-660.
11. Repetin L. N., Belocopitov V. N., Lipchenko M. M. Winds and waves in the coastal zone of the south-western part of Crimea // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources. 2003. Vol. 9. P. 13-28. (in Russ.).
12. Aleksandrov B. G., Terenko L. M., Nesterova O. L. The first case of water blooming in the Black Sea with algae *Nodularia spumigena* Mert ex. Bornet Flahaut (Cyanoprocaryota) // Algology. 2012. Vol. 22, no 2. P. 152-165. (in Russ.).
13. Andreeva N. A., Melnikov V. V., Snarskaja D. D. The role of cyanobacteria in marine ecosystems // Russian Journal of Marine Biology 2020. Vol. 46, no. 3. P. 154-165. [https:// doi. org /10.1134/S1063074020030025](https://doi.org/10.1134/S1063074020030025).

14. Goldin E. B. Mass species of cyanobacteria and microalgae in ecosystems: interspecific relationships and co-evolutionary process // Ecosystems, their optimization and protection. 2012. Vol. 7. P. 114-125. (in Russ.).
15. Rjabushko L. I., Bondarenko A. V. Microalgae of the mud volcano of the Bulganaksky sopchny field on the Crimean peninsula // Marine Biological Journal. 2020. Vol. 5, no. 1. P. 64-77. <https://doi.org/10.21072/mbj.2020.05.1.07>. (in Russ.).
16. Poljak Yu. M., Sukarevich V. I. Поляк Токсигенные цианобактерии: распределение, регуляция синтеза токсинов, методы их разрушения // Water: chemistry and ecology. 2017. No. 11-12. P. 125-139. (in Russ.).
17. Drinking water. Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. SanPiN 2.1.4.1074-01, 1 January 2002 year. (in Russ.)
18. Anyufrieva E. V., Shadrin N. V., Shadrina S. N. The history of studying the biodiversity of hypersalted reservoirs of the Crimea // Arid ecosystems. 2017. Vol. 7, no. 3. P. 55-61. (in Russ.).
19. Womack A. M., Bohannan B.J., and Green J.L. Biodiversity and biogeography of the atmosphere // Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences. 2010. Vol. 365. P. 3645-3653.
20. Mazur-Marzec H. Characterization of phycotoxins produced by cyanobacteria / H. Mazur-Marzec // International Academic Journal of Oceanography and Hydrobiology. 2006. Vol. 35. P. 85-109.

Информация об авторе

*Л.Л. Смирнова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.
Институт природно-технических систем, 299011 Севастополь, ул. Ленина 28
Лаборатория экологических проблем природопользования*

Information about the author

*L.L. Smyrnova – Dr. Sci. (Biol.), Senior Res.
Institute of Natural & Technical Systems, 299011 Sevastopol, 28 Lenin st. Laboratory of
Ecological Problems of Nature Management*

Дина Данировна Снарская¹, Мария Сергеевна Емельянова²

^{1,2} *Научный парк СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*

¹ *dina.snarskaya@spbu.ru;*

² *m.emelyanova@spbu.ru*

НОВЫЕ ШТАММЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КОЛЛЕКЦИИ CALU

Аннотация. В работе приведено описание новых штаммов цианобактерий, депонированных в коллекцию CALU – коллекцию культур цианобактерий и микроводорослей Ресурсного центра «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ. Большая часть полученных штаммов определена до рода, для некоторых штаммов секвенированы последовательности гена 16S рРНК.

Ключевые слова: коллекция культур, штаммы цианобактерий

Dina Danilovna Snarskaya¹, Maria Sergeevna Yemelyanova²

^{1,2} *St. Petersburg State University Science Park, Saint Petersburg, Russia*

¹ *dina.snarskaya@spbu.ru;*

² *m.emelyanova@spbu.ru*

NEW STRAINS OF CYANOBACTERIA IN THE CALU COLLECTION

Annotation. The paper describes new strains of cyanobacteria deposited in the CALU collection – a collection of cyanobacteria and microalgae cultures of the Resource Center "Cultivation of Microorganisms" of the St. Petersburg State University Science Park. Most of the strains obtained have been identified to the genus, and sequences of the 16S rRNA gene have been sequenced for some strains.

Keywords: culture collection, cyanobacteria strains

Коллекция CALU является одной из крупнейших в России и мире, официально зарегистрирована под № 461 в Международном Реестре Микробных Коллекций. Это высокоценный сохраняемый генофонд микроорганизмов, происходящих из разных регионов Земного шара. Он используется при проведении широкого круга фундаментальных и прикладных исследований, а также в образовательных целях. Основу коллекции составляют кислородные фотосинтезирующие микроорганизмы. В настоящее время коллекция насчитывает 511 штаммов цианобактерий, 471 штамм микроводорослей. Все штаммы поддерживаются в жизнеспособном состоянии на жидких или агаризованных питательных средах [5].

В период с 2018 по 2022 годы силами сотрудников и студентов кафедры микробиологии СПбГУ коллекция пополнилась 64 штаммами цианобактерий. Кроме того, запланировано депонирование еще 50 штаммов цианобактерий, выделенных из различных экотопов прибрежной акватории Крыма, с которыми в данное время проводится работа по очистке и идентификации.

Новые штаммы выделены из самых разных географических зон. В силу того, что степень изученности биоразнообразия цианобактерий Антарктики затруднена труднодоступностью и удаленностью, ценно то, что большая часть депонированных штаммов выделена из проб, отобранных в антарктических экспедициях. Местами выделения 42 штаммов антарктических цианобактерий являются озера Рейд, Кэмерон, Лоу, Скандретт, Дискашн, Брювайлер и др. оазиса Холмы Ларсеманн. Экотопы выделенных штаммов - это обрастания камней, бактериальные маты в прибойной зоне, корки со дна. Надо отметить, что

наблюдается преобладание трихомных цианобактерий, относящихся к родам *Leptolyngbya*, *Nostoc*, *Pseudanabaena*, *Phormidesmis* и др. [1],[2], [3]

Часть депонированных штаммов цианобактерий была получена из проб, отобранных в регионах с жарким климатом (юг РФ – Краснодарский край, Испания, Италии, Португалия) и представлена разными родами трихомных и одноклеточных цианобактерий. Экоотопами выделения в основном являются обрастания камней, стен, мостков, лавовых бассейнов на побережье.

Ряд штаммов цианобактерий выделен из проб разных географических регионов РФ – Карелии, оз. Байкал, Краснодарского края, Новгородской обл., Санкт-Петербурга. Новые изоляты являются представителями родов: *Chroococcus*, *Cyanobium*, *Phormidium*, *Nostoc* и др.

Для некоторых новых штаммов проведен анализ последовательности гена 16S рРНК, позволивший уточнить их таксономический статус. А ретроспективный молекулярно-генетический анализ штаммов одноклеточных цианобактерий, ранее депонированных в коллекции как представители рода *Synechocystis*, позволил охарактеризовать новый род *Altericista*, включающий 3 новых вида (*A. lacusladogae* CALU 1127, 1174; *A. variichlora*, CALU 1173, *A. violacea* CALU 1077) [4]; отнести 5 штаммов к роду *Geminocystis* (CALU 1334, 1759, 1794, 1801, 1807) предположительно в ранге нового вида. Кроме того, один из штаммов *Gloeocapsa* sp. (CALU 1842) по результатам анализа последовательности гена 16S рРНК переопределить как род *Chalicogloea* (готовится его описание в ранге нового вида).

В сотрудничестве с коллегами из Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН - СПб ФИЦ РАН) продолжены работы по анализу содержания токсинов в клетках коллекционных штаммов. Методом ЖХ-МС/МС был проведен анализ на содержание анатоксина-а, нодуляринов и микроцистинов в биомассе некоторых новых штаммов *Nostoc*, *Phormidesmis*, *Microcystis*. В клетках штамма *Microcystis* sp. CALU 1924 были детектированы аргинин-содержащие варианты гепатотоксинов – микроцистинов.

Заключение. Поддержание и пополнение коллекции CALU является важной задачей по сохранению генофонда микроорганизмов. Изучение морфологии, физиологии и биохимии, генетики, экологии, таксономии цианобактерий позволяет решать фундаментальные и прикладные задачи. Коллекция предоставляет штаммы на безвозмездной или коммерческой основе учебным и научным учреждениям с государственной аккредитацией [5].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аверина С.Г., Краснова А.Д. Характеристика культивируемых штаммов цианобактерий озера Степед (Антарктида) // Тезисы докладов Международной научной школы-конференции “Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение”. Апатиты, Мурманская обл., 5-9 сентября 2016 г.; С. 14-16.

2. Аверина С.Г., Цветикова С.А., Полякова Е.Ю., Величко Н.В., Пиневиц А.В. Антарктические цианобактерии рода *Pseudanabaena* – пример психротолерантных микроорганизмов // Вопросы современной альгологии. 2020. № 2 (23). С. 57–62

3. Величко Н.В., Аверина С.Г., Портнягина О.А., Цветикова С.А., Пиневиц А.В. Культивируемые цианобактерии из водоемов Восточной Антарктиды (оазис Холмы Ларсеманн). Сборник материалов IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге», 24-28 сентября 2018 г., С.-Петербург, Россия, С. 93-94. (<https://www.binran.ru/science/konferentsii-i-shkoly/vodorosli-problemy-taksonomii-ekologii-i-ispolzovanie-v-monitoringe/>).

4. Averina S., Poyakova E., Senatskaya E. and Pinevich A. 2021. A new cyanobacterial genus

- Altericista, and three species *A. lacusladogae* sp. nov., *A. violacea* sp. nov., and *A. variichlora* sp. nov. described using a polyphasic approach. J. Phycol. DOI: 10.1111/jpy.13188.
6. Pinevich A.V., Mamkaeva k.A., Titova N.N. et al. St. Petersburg culture collection (CALU): four decades of storage and research with microscopic algae, cyanobacteria and other microorganisms // Nova Hedwigia. 2004. Vol. 79. P. 115-126.

REFERENCES

1. Averina S.G., Krasnova A.D. Charakteristika kul'tiviruemy`x shtammov cianobakterij ozera Stepped (Antarktida) // Tezisy` dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly`-konferencii "Cianoprokarioty` (cianobakterii): sistematika, e`kologiya, rasprostranenie". Apatity`, Murmanskaya obl., 5-9 sentyabrya 2016 g.; C. 14-16.
2. Averina S.G., Czvetikova S.A., Polyakova E.Yu., Velichko N.V., Pinevich A.V. Antarkticheskie cianobakterii roda Pseudanabaena – primer psixrotolerantny`x mikroorganizmov // Voprosy` sovremennoj al`gologii. 2020. № 2 (23). S. 57–62
3. Velichko N.V., Averina S.G., Portnyagina O.A., Czvetikova S.A., Pinevich A.V. Kul'tiviruemy`e cianobakterii iz vodoemov Vostochnoj Antarktidy` (oasis Xolmy` Larsemann). Sbornik materialov IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem «Vodorosli: problemy` taksonomii, e`kologii i ispol'zovanie v monitoringe», 24-28 sentyabrya 2018 g., S.-Peterburg, Rossiya, C. 93-94. (<https://www.binran.ru/science/konferentsii-i-shkoly/vodorosli-problemy-taksonomii-ekologii-i-ispolzovanie-v-monitoringe/>).
4. Averina S., Poyakova E., Senatskaya E. and Pinevich A. 2021. A new cyanobacterial genus
Altericista, and three species *A. lacusladogae* sp. nov., *A. violacea* sp. nov., and *A. variichlora* sp. nov. described using a polyphasic approach. J. Phycol. DOI: 10.1111/jpy.13188.
5. Pinevich A.V., Mamkaeva k.A., Titova N.N. et al. St. Petersburg culture collection (CALU): four decades of storage and research with microscopic algae, cyanobacteria and other microorganisms // Nova Hedwigia. 2004. Vol. 79. P. 115—126.

Информация об авторах

Д.Д.Снарская – ведущий специалист;
М.С.Емельянова – ведущий специалист.

Information about the authors

D.D.Snarskaya – leading specialist;
M.S. Yemelyanova – leading specialist.

Юлия Викторовна Батаева¹, Лилит Норайровна Григорян²

^{1,2}Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Астрахань, Россия

¹aveatab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1064-3731>

²lilyagrigoryan90@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1132-2043>

Автор, ответственный за переписку: Юлия Викторовна Батаева, aveatab@mail.ru

ОЦЕНКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ANABAENA CONSTRICTA IPPAS B-2020 В МИКРОДЕЛЯНОЧНОМ ОПЫТЕ

Аннотация. Изучено влияние цианобактерий *Anabaena constricta* IPPAS B-2020 на рост и развитие перца овощного в микроделяночном опыте. Урожайность перца при обработке суспензией цианобактерий составила 0,272 кг/куст, что превышало контроль на 90,2%. Количество микромицетов рода *Fusarium* в почве при бактеризации цианобактериями составило порядок 10^2 КОЕ/г, что на два порядка меньше, чем в контроле.

Ключевые слова: цианобактерии, *Anabaena*, *Fusarium*, перец.

Bataeva Y. Viktorovna¹, Grigoryan L. Norayrovna²

^{1,2}Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russia, aveatab@mail.ru

¹aveatab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1064-3731>

²lilyagrigoryan90@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1132-2043>

Corresponding author: Yulia V. Bataeva, aveatab@mail.ru

EVALUATION OF THE PHYTOSTIMULATING PROPERTIES OF CYANOBACTERIA ANABAENA CONSTRICTA IPPAS B-2020 IN A MICRODEAL EXPERIMENT

Annotation. The effect of cyanobacteria *Anabaena constricta* IPPAS B-2020 on the growth and development of vegetable pepper in a microdeal experiment was studied. The yield of pepper when treated with a suspension of cyanobacteria was 0,272 kg / bush, which exceeded the control by 90,2%. The number of micromycetes of the genus *Fusarium* in the soil during bacterization by cyanobacteria was about 10^2 CFU/g, which is two orders of magnitude less than in the control.

Keywords: Cyanobacteria, *Anabaena*, *Fusarium*, pepper

Почвенные микроорганизмы стимулируют рост растений, позволяют получить экологически чистую продукцию и вносят существенный вклад в плодородие почвы. Они образуют многочисленные физиологически активные вещества, которые поступают в корни растений и интенсифицируют их рост, увеличивают урожайность сельхозкультур, сокращают сроки созревания, повышают питательную ценность, повышают устойчивость к болезням, заморозкам, засухе и другим неблагоприятным факторам, борются с сорной растительностью и выполняют многие другие функции. Цианобактерии фиксируют из атмосферы не только углерод, но и молекулярный азот, продуцируют комплекс биологически активных веществ и образуют первичную продукцию органического вещества [1]. В природных условиях цианобактерии всегда развиваются в ассоциациях с множеством других организмов, благодаря слизистым чехлам, и, вследствие этого, обладают адаптационными возможностями и устойчивостью к резко изменяющимся условиям среды. Это создает предпосылки для более эффективного приспособления циано-бактериальных

сообществ при их интродуцировании в почву. Кроме того, цианобактерии экономичны при культивировании и обладают высокими скоростями роста, что очень важно для производства биопрепаратов. За 20 дней цианобактерии накапливают до 15 т биомассы на 1 га.

Существенная роль цианобактерий, используемых в качестве удобрений, показана для районов орошаемого земледелия и, особенно, рисосеяния. Внесение в почву живых культур азотфиксирующих цианобактерий оказывает положительное влияние на рост и урожайность риса. Известна роль цианобактерий – как стимуляторов роста, на примере бобовых и других культур [2,3], но малочисленны данные по их влиянию на рост культур в условиях аридного климата, например, Астраханской области [4].

Опыты проводили в открытом грунте на территории технопарка Астраханского государственного университета п. Начало Астраханской области на семенах перца сорта «Калифорнийское чудо». Растения высаживали на 3-рядовых делянках. Расстояние между растениями составляло 40 см. В каждом варианте высаживали 50 растений в трехкратной повторности. Продолжительность опыта - 4 месяца. Схема опыта включала варианты: двукратная обработка цианобактериями – бактеризация семян и пролив в фазу 2-4 настоящего листа; контроль – пролив водопроводной водой. Значение температуры в течение опыта составило от 15 до 40 °С.

Для обработки семян и растений перца использовали альгологически чистую культуру цианобактерий *Anabaena constricta* IPPAS B-2020 в виде суспензии (5 гр абсолютно сухой биомассы цианобактерий на 1 л стерильной дистиллированной воды). Перед посевом проводили бактеризацию семян, которые выдерживали в течение 1 часа в суспензии с цианобактериями, а контрольные семена - в воде.

В течение опыта на стадии плодоношения измеряли длину корня, высоту растений, массу одного плода, количество плодов и урожайность. Растения, обработанные суспензией цианобактерий, значительно превышали контрольные по длине корня и высоте растений на 104,7% и 118,5%, соответственно (табл.1).

Таблица 1

Длина корня и высота растений перца при внекорневой подкормке суспензией цианобактерий *Anabaena constricta* IPPAS B-2020

Вариант опыта	Длина корня, см	Высота растения, см
Контроль	10,5±0,24	28,6±0,17
Обработка суспензией цианобактерий	21,5±0,18	62,5±0,36

Отмечено ускоренное созревание плодов у обработанных растений на 5-8 дней по сравнению с контролем. Масса одного плода перца и количество плодов при обработке суспензией цианобактерий превышали контрольную массу на 19,2% и 70,0%, соответственно (табл.2).

Таблица 2

Урожайность перца при внекорневой подкормке суспензией цианобактерий *Anabaena constricta* IPPAS B-2020

Вариант опыта	Масса плода, кг.	Количество плодов, шт./куст	Урожайность, кг/куст
Контроль	0,52±12,03	2,0±0,70	0,143±0,27
Обработка суспензией цианобактерий	0,62±14,60	3,4±0,47	0,272±0,12

Урожайность перца при обработке суспензией составила 0,272 кг/куст, что превышало контроль на 90,2%.

При подсчете растений с симптомами фузариоза, обнаружено, что количество обработанных суспензией цианобактерий растений составило 0% (без симптомов), а в контроле 9% (с симптомами), что подтверждает высокую фунгицидную активность культуры цианобактерий (табл.3).

Таблица 3

Численность микроорганизмов рода *Fusarium* в почве и процент растений с симптомами фузариоза

Опыт	% растений с симптомами фузариоза	Титр микроорганизмов рода <i>Fusarium</i> в почве, КОЕ/г
Контроль	9	10 ⁴
Обработка суспензией цианобактерий	0	10 ²

Количество микромицетов рода *Fusarium* при бактериализации цианобактериями составило порядок 10² КОЕ/г, что на два порядка меньше, чем в контроле.

Таким образом, цианобактерия *Anabaena constricta* IPPAS В-2020 оказали не только стимулирующий, но и защитный эффект против фузариоза для растений перца в микроделяночном опыте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A., Ibraheem I. Agricultural importance of algae // African Journal Biotechnology. 2012. № 11. P.11648-11658.
2. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kutz как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий рода *Rhizobium* / Е.М. Панкратова, Л.В. Трефилова, Р.Ю. Зяблых, И.А. Устюжанин // Микробиология. 2008. Том 77. № 2. С. 266-272.
3. Трефилова Л.В. Использование цианобактерий в агробiotехнологии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / Трефилова Людмила Васильевна. Саратов, 2008. 26 с.
4. Скрининг циано-бактериальных сообществ из экосистем Нижнего Поволжья, обладающих ростстимулирующими свойствами / Ю.В. Батаева, И.С. Держинская, Чан Минь Куан, Мвале Камуквамба // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (88). С. 46-49.

REFERENCES

1. Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A., Ibraheem I. Agricultural importance of algae // African Journal Biotechnology. 2012. № 11. P.11648-11658.
2. Cyanobacteria *Nostoc paludosum* Kutz as a basis for creating agronomically useful microbial associations on the example of bacteria of the genus *Rhizobium* / E.M. Pankratova, L.V. Trefilova, R.Yu. Zyablykh, I.A. Ustyuzhanin // Microbiology. 2008. Volume 77. № 2. P. 266-272.
3. Trefilova L.V. The use of cyanobacteria in agrobiotechnology: abstract. dis. ... cand. biol. sciences: 03.00.07 / Trefilova Lyudmila Vasilyevna. Saratov, 2008. 26 p.
4. Screening of cyano-bacterial communities from ecosystems of the Lower Volga region with growth-stimulating properties / Yu.V. Bataeva, I.S. Dzerzhinskaya, Chang Min Kuan, Mvale Kamukwamba // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2012. № 2 (88). P. 46-49.

Информация об авторах

Ю.В. Батаева – кандидат биологических наук, доцент;

Л.Н. Григорян – кандидат биологических наук.

Information about the authors

Yu.V. Bataeva – cand. of Sciences (Biology), docent;

L.N. Grigoryan – cand. of Sciences (Biology).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Уважаемые коллеги!

При подготовке статей в журнал
просим руководствоваться следующими правилами

Общие положения

Научный журнал «Вестник БГПУ им. М. Акмуллы» публикует статьи по следующим разделам:

- Достижения науки. Известные учёные. Хроника.
- Фундаментальные и прикладные исследования:
 - гуманитарные науки;
 - естественно-математические;
 - психолого-педагогические.
- Искусство и культура.
- Дискуссии и обсуждения.
- Книговедение.
- Из опыта работы экспериментальных площадок и лабораторий.
- Слово – молодым исследователям.

Основным требованием к публикуемому материалу является соответствие его высоким научным критериям (актуальность, научная новизна и другое).

Авторский материал может быть представлен как:

- обзор (до 16 стр.);
- оригинальная статья (до 8 стр.);
- краткое сообщение (до 2 стр.).

Работы сопровождаются **аннотацией и ключевыми словами**. К статье молодых исследователей (студентов, магистрантов, аспирантов) следует приложить заключение научного руководителя о возможности опубликования её в открытой печати.

Все принятые к работе оригиналы проходят проверку с помощью программы «Антиплагиат».

Всем авторам необходимо предоставить в редакцию отдельным файлом:

а) персональные данные по предложенной форме:

Фамилия Имя Отчество	
Место учебы / работы	
Должность	
Учёная степень	
Почтовый адрес (домашний)	
Факультет, курс, специальность	
Тел.: рабочий / мобил., дом.	
E-mail	
Тема работы	
Рубрика для публикации	

б) согласие на обработку персональных данных по форме
(<https://bspu.ru/unit/251/docs>);

- в) оформленная строго по требованиям научная статья;
- г) заключение научного руководителя (студентам и аспирантам).
- Название файла и письма должны соответствовать фамилии автора/ авторов.
- Материалы отправляются по электронному адресу: vestnik.bspu@yandex.ru

Рекомендуемая структура публикаций

В начале статьи в левом верхнем углу на отдельной строке ставится индекс УДК.

Далее на первой странице данные идут в следующей последовательности:

- Фамилия и инициалы, звание, должность, наименование организации, где выполнена работа (через запятую курсивом в правом верхнем углу)
- Полное название статьи (прописными буквами по центру)
- Аннотация (содержит основные цели предмета исследования, главные результаты и выводы объёмом не более 8 строк)
- Ключевые слова (не более 10)
- Текст публикации
- Список источников (по центру), оформленная в соответствии с требованиями.

Основные сведения об авторе содержат:

- имя, отчество, фамилию автора (полностью);
 - наименование организации (учреждения), её подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п.);
 - адрес организации (учреждения), её подразделения, где работает или учится автор (город и страна);
 - электронный адрес автора (e-mail);
 - открытый идентификатор учёного (Open Researcher and Contributor ID – ORCID) (при наличии).
- Адрес организации (учреждения), где работает или учится автор, может быть указан в полной форме.
- Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят.
- ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят.
- Наименование организации (учреждения), её адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Пример –

Сергей Юрьевич Глазьев

Финансовый университет, Москва, Россия, serg1784@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4616-0758>

1. В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учёбы), указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью надстрочных цифровых обозначений.

Пример –

Арник Ашотовна Асратян^{1, 2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи, Москва, Россия, zasratyan@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

2. Если у статьи несколько авторов, то сведения о них приводят с учётом нижеследующих правил.

Имена авторов приводят в принятой ими последовательности.

Сведения о месте работы (учёбы), электронные адреса, ORCID авторов указывают после имён авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений ¹⁾.

Пример –

Пётр Анатольевич Коротков¹, Алексей Борисович Трубянов², Екатерина Андреевна Загайнова³

¹Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия, korotr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0340-074X>

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, true47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2342-9355>

³Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия, e.zagaynova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5432-7231>

3. Если у авторов одно и то же место работы, учёбы, то эти сведения приводят один раз.

Пример –

Юлия Альбертовна Зубок¹, Владимир Ильич Чупров²

^{1, 2}Институт социально-политических исследований, Федеральный научно-исследовательский социологический центр, Российская академия наук, Москва, Россия

¹uzubok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3108-261>

²chuprov443@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7881-9388>

После сведений обо всех авторах на отдельной строке в начале статьи.

Пример –

Автор, ответственный за переписку: Иван Васильевич Перов, ivp@mail.ru

Corresponding author: Ivan V. Perov, ivp@mail.ru

4. Когда приводят электронный адрес только одного автора или данный автор указан отдельно как ответственный за переписку, электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

5. Сведения об авторе (авторах) повторяют на английском языке после заглавия статьи на английском языке. Имя и фамилию автора (авторов) приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, – до двух букв).

Пример –

Sergey Yu. Glaz'ev

Financial University, Moscow, Russia, serg1784@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4616-0758>

6. Дополнительные сведения об авторе (авторах) могут содержать:

– полные имена, отчества и фамилии, электронные адреса и ORCID авторов, если они не указаны на первой полосе статьи (см. 4.9.2.2);

- учёные звания;
- учёные степени;
- другие, кроме ORCID, международные идентификационные номера авторов.

Дополнительные сведения об авторе (авторах) приводят с предшествующими словами «Информация об авторе (авторах)» (“Information about the author (authors)”) и указывают в конце статьи после «Списка источников».

Пример –

Информация об авторах

Ю.А. Зубок – доктор социологических наук, профессор;

В.И. Чупров – доктор социологических наук, профессор.

Information about the authors

Ju.A. Zubok – Doctor of Science (Sociology), Professor;

V.I. Chuprov – Doctor of Science (Sociology), Professor.

Пример –

Информация об авторе

С. Ю. Глазьев – д-р экон. наук, проф., акад. Рос. акад. наук.

Information about the author

S. Yu. Glaz'ev – Dr. Sci. (Econ.), Prof., Acad. of the Russ. Acad. of Sciences.

7. Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объем аннотации не превышает 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» (“Abstract”).

Вместо аннотации может быть приведено резюме. Объем резюме обычно не превышает 250–300 слов.

8. Ключевые слова (словосочетания) должны соответствовать теме статьи и отражать её предметную, терминологическую область. Не используют обобщённые и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты.

Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 3 и больше 15 слов (словосочетаний). Их приводят, предваряя словами «Ключевые слова:» (“Keywords:”), и отделяют друг от друга запятыми. После ключевых слов точку не ставят.

Пример –

Книгоиздание России в 2019 г.

Галина Викторовна Перова¹, Константин Михайлович Сухоруков²

^{1, 2}Российская книжная палата, Москва, Россия

¹perova_g@tass.ru

²a-bibliograf@mail.ru

Аннотация. Авторы приводят основные статистические показатели отечественного книгоиздания за 2019 г., анализируя состояние выпуска печатных изданий и тенденции развития издательского дела в России.

Ключевые слова: издательское дело, статистика книгоиздания, Российская книжная палата, Россия

Publishing in Russia in 2019

Galina V. Perova¹, Konstantin M. Sukhorukov²

^{1, 2}Russian Book Chamber, Moscow, Russia

¹perova_g@tass.ru

²a-bibliograf@mail.ru

Abstract. *The authors provide the main statistics of the Russian book publishing in 2019, analyzing the output indicators of printed publications and trends in the publishing industry in Russia.*

Keywords: *publishing, publishing statistics, Russian Book Chamber, Russia.*

9. После ключевых слов приводят слова благодарности организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья.

Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности:». На английском языке слова благодарности приводят после ключевых слов на английском языке с предшествующим словом “Acknowledgments:”.

Пример –

Благодарности: *работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 17-77-3019; авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море.*

Acknowledgments: *the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 17-77-300; the authors are grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea.*

10. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (-ов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Знак охраны авторского права приводят внизу первой полосы статьи с указанием фамилий и инициалов авторов и года публикации статьи.

© Олесова Е.И., 2022

или

© Левитская Н.Г., Бойкова О.Ф., Киян Л.Н., 2022.

11. Перечень затекстовых библиографических ссылок помещают после основного текста статьи с предшествующими словами «**Список источников**». Использование слов «Библиографический список», «Библиография» не рекомендуется.

12. В перечень затекстовых библиографических ссылок включают записи только на ресурсы, которые упомянуты или цитируются в основном тексте статьи.

Библиографическую запись для перечня затекстовых библиографических ссылок составляют по ГОСТ Р 7.0.5.

13. Отсылки на затекстовые библиографические ссылки оформляют по ГОСТ Р 7.0.5.

14. Библиографические записи в перечне затекстовых библиографических ссылок нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи.

15. Дополнительно приводят перечень затекстовых библиографических ссылок на латинице (“References”) согласно выбранному стилю оформления перечня затекстовых библиографических ссылок, принятому в зарубежных изданиях: Harvard, Vancouver, Chicago, ACS (American Chemical Society), AMS (American Mathematical Society), APA (American Psychological Association) и др. (см. Приложение). Нумерация записей в дополнительном перечне затекстовых библиографических ссылок должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

16. Пристатейный библиографический список помещают после перечня затекстовых ссылок с предшествующими словами «Библиографический список».

17. В пристатейный библиографический список включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья.

Библиографическую запись для пристатейного библиографического списка составляют по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

18. Библиографические записи в пристатейном библиографическом списке нумеруют и располагают в алфавитном или хронологическом порядке.

19. Приложение (приложения) к статье публикуют с собственным заглавием. В заглавии или подзаголовочных данных приложения приводят сведения о том, что данная публикация является приложением к основной статье.

При наличии двух и более приложений их нумеруют.

20. В статье могут быть внутритекстовые, подстрочные и затекстовые примечания.

21. Внутритекстовые примечания помещают внутри основного текста статьи в круглых скобках.

22. Подстрочные примечания помещают внизу соответствующей страницы текста статьи.

22. Затекстовые примечания помещают после основного текста статьи перед «Списком источников» с предшествующим словом «Примечания».

23. Затекстовые и подстрочные примечания связывают с текстом, к которому они относятся, знаками выноски или отсылки.

24. Внутритекстовые и подстрочные примечания, содержащие библиографические ссылки, составляют по ГОСТ Р 7.0.5.

25. При публикации статьи, переведённой с языка народов Российской Федерации или иностранного языка, а также при перепечатке статьи из другого источника в подстрочном примечании на первой полосе статьи приводят библиографическую запись на оригинальную статью по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

26. Библиографическую запись на статью на языке её текста (кроме английского) для дальнейшего цитирования составляют по ГОСТ Р 7.0.5 и приводят после ключевых слов (словосочетаний) на языке текста статьи, предваряя словами «Для цитирования:».

Пример –

Для цитирования: Сапир Е. В., Карачев И. А. Вызовы новой инвестиционной политики: защита и поощрение капиталовложений // *Финансы: теория и практика*. 2020. Т. 24, № 3. С. 118–131. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2020-24-3-118-131>.

Библиографическую запись на статью на английском языке для дальнейшего цитирования составляют согласно выбранному стилю оформления перечня затекстовых библиографических ссылок, принятому в зарубежных изданиях (см. п.15.) и приводят после ключевых слов (словосочетаний) на английском языке, предваряя словами “For citation:”.

Пример –

For citation: Sapir E. V., Karachev I. A. *Challenges of a new investment policy: Investment promotion and protection. Finance: Theory and practice. 2020;24(3):118-131. (In Russ.).* <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2020-24-3-118-131>.

Если статья имеет две версии в электронном формате на русском и английском языках, указание на язык (In Russ.) не дают.

27. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, приводят в конце статьи после «Информации об авторах». Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов:» (“Contribution of the authors.”). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример –

Вклад авторов:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Artemyeva S. S. – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Mitrokhin V. V. – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

28. Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия приводят в конце статьи после «Информации об авторах». Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример –

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Требования к текстовой части статьи

Текст статьи предоставляется в редакцию в виде файла с названием, соответствующим фамилии первого автора статьи в формате .doc (текстовый редактор Microsoft Word 6.0 и выше), и должен отвечать нижеприведенным требованиям.

Компьютерную подготовку статей следует проводить посредством текстовых редакторов, использующих стандартный код ASCII (Multi-Edit, Norton-Edit, Lexicon), MS Word for Windows или (предпочтительно) любой из версий пакета TeX.

- Параметры страницы: формат – А4; ориентация – книжная; поля: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, левое – 2 см, правое – 2 см.
- Шрифт Times New Roman; размер шрифта – 12 pt; межстрочный интервал – 1; отступ (абзац) – 1,25.

Следует различать дефис (-) и тире (–). Дефис не отделяется пробелами, а перед тире и после ставится пробел.

Перед знаком пунктуации пробел не ставится.

Кавычки типа « » используются в русском тексте, в иностранном – “ ”.

Кавычки и скобки не отделяются пробелами от заключенных в них слов, например: (при 300 К).

Все сокращения должны быть расшифрованы.

Подписи к таблицам и схемам должны предшествовать последним. Подписи к рисункам располагаются под ними и должны содержать четкие пояснения, обозначения, номера кривых и диаграмм. На таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте, при этом не допускается дублирование информации таблиц, рисунков и схем в тексте. Рисунки и фотографии должны быть предельно четкими (по возможности цветными, но без потери смыслового наполнения при переводе их в черно-белый режим) и представлены в формате *.jpg, *.eps, *.tif, *.psd, *.psx. Желательно, чтобы рисунки и таблицы были как можно компактнее, но без потери качества. В таблице границы ячеек обозначаются только в «шапке». Каждому столбцу присваивается номер, который используется при переносе таблицы на следующую страницу. Перед началом следующей части в правом верхнем углу курсивом следует написать «Продолжение табл. ...» с указанием ее номера. Сложные схемы, рисунки, таблицы формулы желательно привести на отдельном листе. Не допускается создание макросов Microsoft Word для создания графиков и диаграмм.

Расстояние между строками формул должно быть не менее 1 см. Следует четко различать написание букв n , h и u ; g и q ; a и d ; U и V ; ξ и ζ ; v , θ и ν и т.д. Прописные и строчные буквы, различающиеся только своими размерами (C и c , K и k , S и s , O и o , Z и z и др.), подчеркиваются карандашом двумя чертами: прописные – снизу, строчные – сверху ($\underline{\underline{P}}$, $\overline{\overline{p}}$; $\underline{\underline{S}}$, $\overline{\overline{s}}$). Латинские буквы подчеркиваются волнистой чертой снизу, греческие – красным цветом, полужирные символы – синим.

Индексы и показатели степени следует писать четко, ниже или выше строки, и отчеркивать дужкой (\frown – для нижних индексов и \smile – для верхних) карандашом. Цифра 0 (нуль), а также сокращения слов в индексах подчеркиваются прямой скобкой – $_$.

Употребление в формулах специальных, в частности, готических и русских букв, а также символов (например, \mathcal{L} , \mathcal{P} , \mathcal{A} , \mathcal{D} , \mathcal{M} , \mathcal{G} , \mathcal{F} , \mathcal{Z} , \mathcal{P} , \mathcal{R} , ∇ , \oplus , \exists и др.) следует особо отмечать на полях рукописи.

Нумерация математических формул приводится справа от формулы курсивом в круглых скобках. Для удобства форматирования следует использовать таблицы из двух столбцов, но без границ. В левом столбце приводится формула, в правом – номер формулы.

Ссылки на математические формулы приводятся в круглых скобках курсивом и сопровождаются определяющим словом. Например: ... согласно уравнению (2) ...

Транскрипцию фамилий и имен, встречающихся в ссылке, необходимо по возможности представлять на оригинальном языке (преднамеренно не русифицируя), либо приводить в скобках иноязычный вариант транскрипции фамилии.

Список источников литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5 в порядке цитирования. Литературный источник в списке литературы указывается один раз (ему присваивается уникальный номер, который используется по всему тексту публикации).

Образцы оформления ссылок на литературу

ОБЩАЯ СХЕМА БИБЛИОГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ:

КНИГА С ОДНИМ, ДВУМЯ или ТРЕМЯ АВТОРАМИ:

ЗАГОЛОВОК (фамилия, инициалы авторов)ОСНОВНОЕ ЗАГЛАВИЕ
: ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ (учеб. пособие)
/ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ (И.О. Фамилия редактора, составителя;
университет)
. СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДАНИИ (2-е изд., перераб. и доп.)
. МЕСТО ИЗДАНИЯ (Москва, Новосибирск)
: ИЗДАТЕЛЬСТВО
, ГОД ИЗДАНИЯ.
. КОЛИЧЕСТВО СТРАНИЦ.

Если нет какой-либо области описания – пропускаем.

Книга с одним автором:

Росляков А. В. ОКС №7: архитектура, протоколы, применение. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.

Книга с двумя авторами:

Ручкин В. Н., Фулин В. А. Архитектура компьютерных сетей. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2010. 238 с.

Книга с тремя авторами:

Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658с.

Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга с четырьмя и более авторами: Описание начинается с ОСНОВНОГО ЗАГЛАВИЯ. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения "и другие" [и др.]

1. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440с.

или

1. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов [и др.]. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книга без автора:

Страхование: учебник / под ред. Т. А. Федоровой. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Магистр, 2011. 106 с.

Многотомное издание:

Экономическая история мира. Европа. Т. 3 / под общ. ред. М. В. Конотопова. Москва: Издат.-торг. корпорация «Дашков и К», 2012. 350 с.

Учебное пособие вуза:

Заславский К. Е. Оптические волокна для систем связи : учеб. пособие / Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2008. 96 с.

или

Заславский К. Е. Оптические волокна для систем связи: учеб. пособие. Новосибирск: СибГУТИ, 2008. 96 с.

Нормативные документы:

Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. М., 2002. 91с.

ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. М., 2000. 7с.

ОБЩАЯ СХЕМА ОПИСАНИЯ СТАТЕЙ ИЗ ЖУРНАЛОВ:

Фамилия И. О. автора статьи. Название статьи // Название журнала. Год. №. С.

Статья с одним автором:

Волков А. А. Метод принудительного деления полосы частот речевого сигнала // Электросвязь. 2010. № 11. С. 48-49.

Статья с тремя авторами:

Росляков А., Абубакиров Т., Росляков Ал. Системы поддержки операционной деятельности провайдеров услуг VPN // Технологии и средства связи. 2011. № 2. С. 60-62.

Статья с четырьмя и более авторами:

Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83-90.

ОБЩАЯ СХЕМА ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТА:

ЗАГОЛОВОК (фамилия, инициалы авторов)ОСНОВНОЕ ЗАГЛАВИЕ
ОБЩЕЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА [Электронный ресурс]
: СВЕДЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ЗАГЛАВИЮ : справочник
/ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ / под ред. И.И. Бун
. МЕСТО ИЗДАНИЯ ГОРОД
: ИМЯ ИЗДАТЕЛЯ
, ДАТА ИЗДАНИЯ
. ПРИМЕЧАНИЯ

1. Смирнов А.И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. М., 2005. 1 CD-ROM.

**ОПИСАНИЕ РЕСУРСОВ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА (Интернет-ресурсы)
ОПИСАНИЕ САЙТА:**

Название сайта [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (это данные о составителях сайта). Город: Имя (наименование) издателя или распространителя, год. URL: [http://www. ____](http://www.____) (дата обращения: _. ____ .)

Пример:

1. Российская государственная библиотека [Электронный ресурс] / Центр информ. технологий РГБ; ред. Т. В. Власенко ; Web-мастер Н. В. Козлова. Москва: Рос. гос. б-ка, 1997. URL : <http://www.rsl.ru>. (дата обращения: 11.12.13)

2. Исследовано в России [Электронный ресурс] : научный журнал / Моск. физ.- техн. ин-т. Долгопрудный : МФТИ, 1998 . URL: <http://zhurnal.mipt.rssi.ru>. (дата обращения: 11.12.13)

МАТЕРИАЛ (текст, статья), РАСПОЛОЖЕННЫЙ НА САЙТЕ:

Фамилия И.О. авторов. Заглавие текста на экране [Электронный ресурс] // Заглавие сайта : сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности. URL : http://www.____ (дата обращения: _. ____ .)

Если нет какой-либо области описания – пропускаем.

Пример:

1.Новосибирск [Электронный ресурс]// Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/%D0%BE%E2%EE%F1%E8%E1%E8%F0%F1%EA> (дата обращения: 11.12.13)

КНИГА ИЗ ПОЛНОТЕКСТОВОЙ ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (ЭБС)

Книга с 1-3 авторами:

Карпенков С. Х. Экология [Электронный ресурс]: учебник. Электрон. Текстовые данные. М.: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru /21892>. ЭБС «IPRbooks».

Книга с 4 и более авторами:

Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые дан. Изд. 3-е, испр. СПб.: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/>

ССЫЛКИ ВНУТРИ ТЕКСТА

Затекстовые библиографические ссылки:

В конце абзаца текста в квадратных скобках [3, с. 25]

3 – номер источника в списке литературы с. 25 – номер страницы.

Статьи, оформленные с нарушением перечисленных выше правил, редакцией не рассматриваются.

**ВЕСТНИК
БАШКИРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
им. М. АКМУЛЛЫ**

**№2 (63) 2022
Специальный выпуск**

**Редакция не всегда разделяет мнение авторов.
Статьи публикуются в авторской редакции.**

Лиц. на издат. деят. Б848421 от 03.11.2000 г.
Компьютерный набор.
Гарнитура Times.