

Д. В. Пуговкин, Е. С. Мирошниченко, Г. М. Воскобойников,  
Дж. Б. Йенсен, А. В. Ляймер

## Об устойчивости эпифитных цианобактерий Кольского залива к воздействию нефтяных углеводородов в водной среде

Эпифитные сообщества цианобактерий водорослей *Fucus vesiculosus* L. Кольского залива способны переносить высокое содержание нефтепродуктов в среде. Представлены результаты исследования устойчивости эпифитных цианобактериальных сообществ к нефтяному загрязнению с использованием как классических (культуральных), так и молекулярно-генетических методов микробиологического анализа. Объектом исследования были эпифитные цианобактерии, обитающие на поверхности бурых водорослей *Fucus vesiculosus* L. Доля данной группы микроорганизмов в бактериоценозах из акватории с хроническим загрязнением нефтепродуктами достигает 6,8 % от всего бактериального сообщества. Морфологически эпифитные цианобактерии представлены как одиночными клетками, так и нитчатыми, и колониальными формами с мелкими клетками (1–2 мкм). Проведены эксперименты по определению устойчивости эпифитных цианобактерий к высоким концентрациям нефтяных углеводородов. В лабораторных условиях при экспозиции чистых культур цианобактерий в питательной среде с добавлением дизельного топлива видимого роста не отмечено. У культур, экспонированных в условиях темноты, произошло увеличение интенсивности синего окрашивания нитей. Выживаемость цианобактерий при длительном периоде темноты в присутствии нефтепродуктов может указывать на переход от автотрофного питания к гетеротрофному, а также на высокую адаптивную способность эпифитных цианобактериальных сообществ фукусовых водорослей к условиям хронического нефтяного загрязнения.

**Ключевые слова:** нефтяные углеводороды, эпифитные цианобактерии, углеводородокисляющие бактерии, *Fucus vesiculosus*.

### Введение

В настоящее время роль цианобактерий арктических морей в биодеградации нефтяных углеводородов (НУ) исследована в недостаточной степени. Большая часть работ проведена в странах с умеренным климатом [1–6] или на юге России [7; 8].

В результате изучения вклада цианобактериальных матов в биодеградацию нефтепродуктов показано, что в разложении углеводородов непосредственное участие могут принимать ассоциированные с ними аэробные гетеротрофные бактерии [1].

Исследования отклика цианобактериальных матов на загрязнение нефтепродуктами осуществлялись с помощью культуральных методов [1–8], заключающихся в том, что в качестве объектов использовались части микробных матов, биопленки или альгологически чистые культуры. Работы, проведенные с аксеническими культурами цианобактерий, показали, что чистые культуры способны выдерживать загрязнение нефтепродуктами и расти в их присутствии [9]. При этом они могут не участвовать в расщеплении углеводородов ни автотрофно, ни гетеротрофно. Природные же цианобактериальные сообщества обладают высокой активностью окисления НУ [9].

Основной целью работы являлось определение устойчивости эпифитных цианобактериальных сообществ к нефтяному загрязнению с помощью культуральных методов и методов молекулярной биологии.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны эпифитные цианобактерии, обитающие на поверхности бурых водорослей *Fucus vesiculosus* L. Пробы водорослей отбирались на литорали на западном берегу южного колена Кольского залива в районе Абрам-Мыс (68°58' с. ш., 33°01' в. д.), где находится наибольшее количество источников загрязнения среды нефтепродуктами.

Выделение всей бактериальной ДНК эпифитных бактерий фукуса проводили по методу Total DNA с помощью фенол-хлороформной экстракции [10].

Для молекулярно-генетического анализа применяли метод секвенирования следующего поколения (NGS) – 454-секвенирование, GS FLX Titanium Series Lib-A Chemistry [11]. Секвенирование осуществляли в компании Macrogen Inc. (Южная Корея) по методике, разработанной компанией Roche (Южная Корея).

В ходе лабораторных экспериментов использовали культуры цианобактерий (чистые культуры *Phormidium laetevirens*, *Leibleinia nordgaargii*, выделенные с литорали Кольского залива, и смесь двух культур *Leptolyngbya* sp.) на питательной среде BG-11 [12], приготовленной на морской воде. Экспериментальное культивирование проводили в течение трех недель при искусственном освещении и в темноте в пробирках, завернутых в фольгу и помещенных в закрытый шкаф, в стандартной трехкратной повторности. В качестве нефтепродукта применяли летнее дизельное топливо (ДТ), которое в избытке добавляли в питательную

среду в количестве до 3,5 мг/л. Это значительно превышает ПДК (0,05 мг/л), однако может соответствовать содержанию НУ при разливах нефти.

Препараты цианобактерий исследовали с помощью метода прямого микроскопирования в световом микроскопе Микромед-2 с фотокамерой.

Электронно-микроскопические фотографии получены на трансмиссионном электронном микроскопе (ТЭМ) JEM-1011 (JEOL).

### Результаты и обсуждение

Характерной особенностью акватории Кольского залива с хроническим нефтяным загрязнением является большая доля в них цианобактерий, которая достигает 6,8 % всего бактериального сообщества [13; 14]. В результате молекулярно-генетического анализа были идентифицированы представители группы IV (Gr IV), относящейся к семейству IV (Family IV), и группы VIII (Gr VIII), относящейся к семейству VIII (Family VIII). Первые являются цианобактериями LPP типа (рода *Lyngbya*, *Plectonema*, *Phormidium*) и представляют собой нитчатые структуры, не образующие гетероцист [15; 16]. Вторые представлены цианобактериями рода *Pleurocapsa* и родственными ему родами [16; 17]. Они могут быть одноклеточными, формировать цепочки, образовывать беоциты (мелкие репродуктивные клетки) путем множественных делений материнских клеток. Организмы обеих групп не являются азотфиксирующими.

Нами были обнаружены как одиночные клетки, так и нити, а также колониальные формы, представляющие собой мелкие клетки (1–2 мкм), заключенные в единую оболочку-чехол (рис. 1).

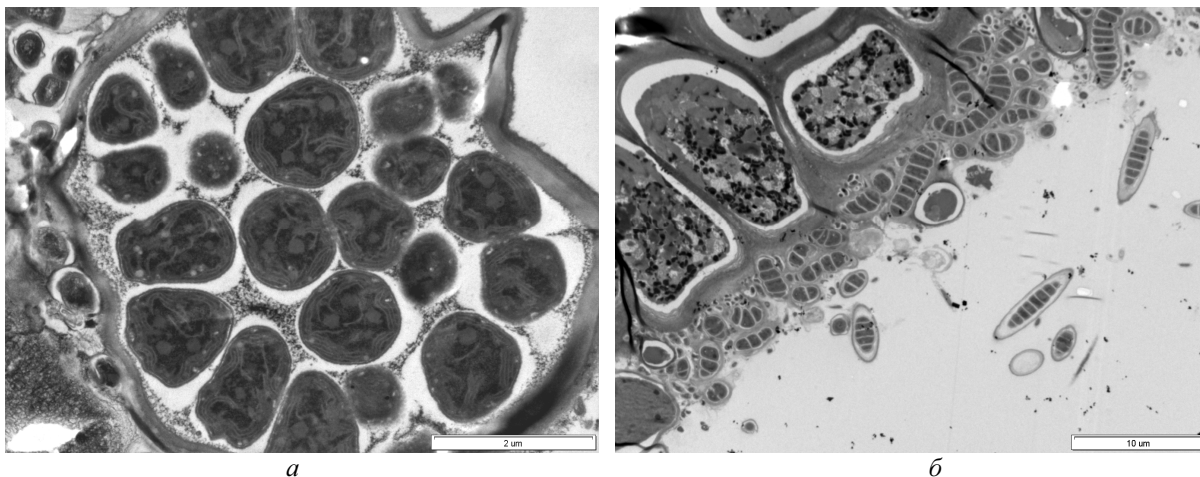


Рис. 1. Эпифитные цианобактерии: *a* – чехол с клетками; *б* – клетки эпифитных цианобактерий  
 Fig. 1. Epiphytic cyanobacteria: *a* – "shells" with cells; *б* – cells of epiphytic cyanobacteria

У нитчатых форм цианобактерий, обитающих на поверхности водорослей в районе с ярко выраженным хроническим загрязнением, отмечается отсутствие гетероцист.

В литературе есть сведения о возможности адаптации цианобактерий к загрязнению среды нефтепродуктами [18; 19] и способности многих из них переходить к фотогетеротрофному и даже полностью к гетеротрофному образу жизни [20]. По данным литературы, присутствие цианобактерий в ассоциациях с углеводородокисляющими микроорганизмами может приводить к увеличению численности последних в эпифитных бактериоценозах [21; 22].

Для определения устойчивости цианобактерий к загрязнению нефтепродуктами были использованы чистые лабораторные культуры цианобактерий, выделенные с литорали Кольского залива.

При культивировании с ДТ на свету ни одна из культур не показала видимого роста. В посевах как без ДТ, так и с ДТ, содержащихся в условиях темноты, обнаружен слабый рост двух культур (*Ph. laetevirens*, *L. nordgaardii*), у третьей культуры (смесь двух видов *Leptolyngbya sp.*) роста не наблюдалось. В литературе имеются сведения, что углеводородокисляющая активность неаксенических культур цианобактерий (*Oscillatoria str.*), культивируемых как на свету, так и в темноте, минимальна [23].

Микроскопические исследования культур цианобактерий из опытных и контрольных пробирок показали их различия (рис. 2).

Так, культуры цианобактерий *Ph. laetevirens* и *L. nordgaardii*, выращенные на свету в среде с ДТ, потеряли пигментацию клеток (рис. 2, *з, д*). При этом в их культуральной жидкости отмечено значительное развитие гетеротрофных бактерий и плесневых грибов; особенно это заметно в культуре *L. nordgaardii* (рис. 2, *д*). Культуры же цианобактерий в средах с ДТ, инкубированных в темноте (рис. 2, *а–в*), показали способность к росту и изменение пигментации в сторону увеличения синего окрашивания (рис. 2, *б, в*) за счет фикоцианина, что, возможно, связано с изменением соотношения фикоцианин/хлорофилл вследствие

разрушения последнего при длительной экспозиции в темноте. Аналогичное явление отмечено и для культур в средах без ДТ, культивируемых без света.

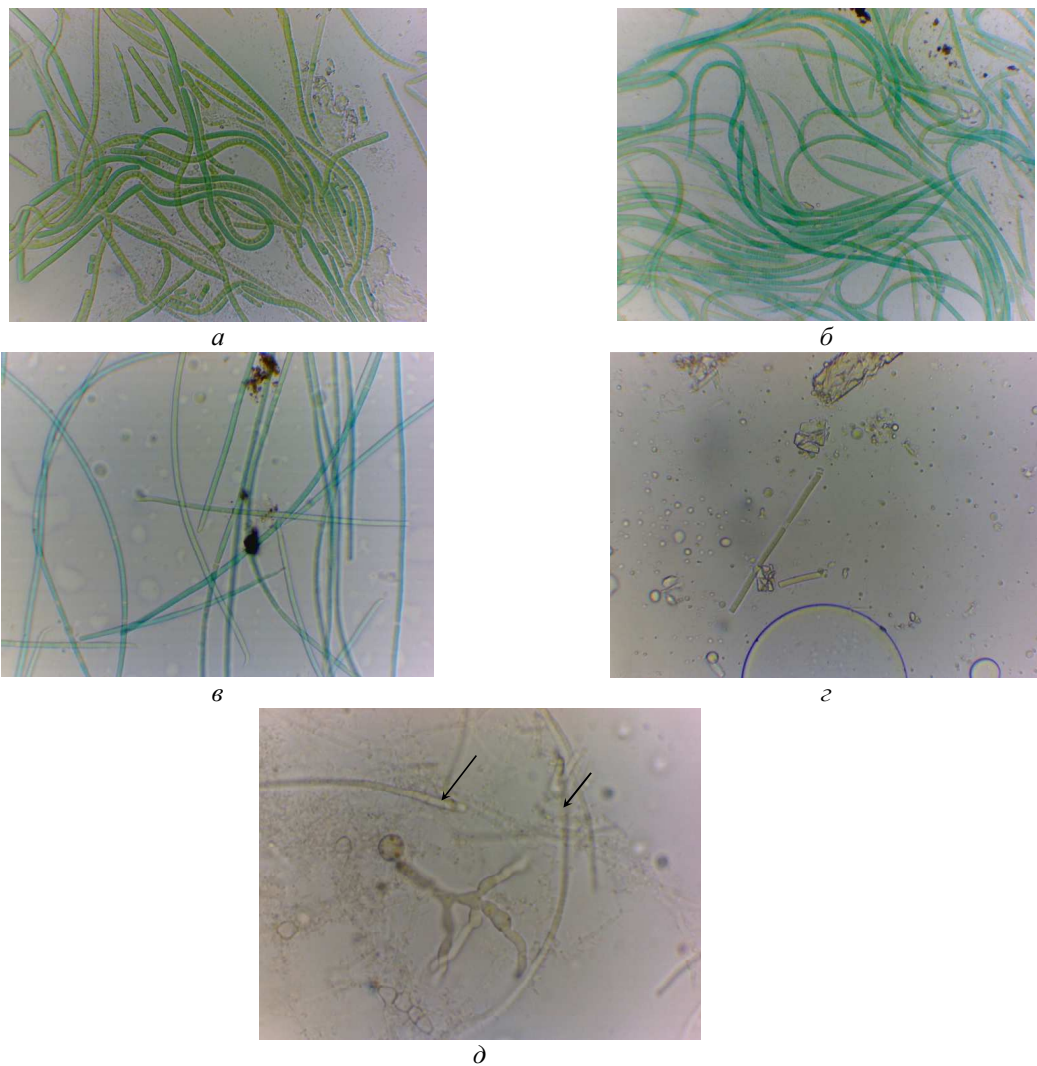


Рис. 2. Микроскопические препараты культур цианобактерий из опытных пробирок при увеличении  $\times 400$ :  
а – *Ph. laetevirens* без ДТ на свету (контроль); б – *Ph. laetevirens* без ДТ в темноте; в – *Ph. laetevirens*  
с ДТ в темноте; z – *Ph. laetevirens* с ДТ на свету; д – *L. nordgaardii* с ДТ на свету (отмечены стрелками)

Fig. 2. The cultures of cyanobacteria from experimental tubes. Magnification  $\times 400$ :  
а – *Ph. laetevirens* without diesel fuel in the light (control); б – *Ph. laetevirens* without diesel fuel in the dark;  
в – *Ph. laetevirens* with diesel fuel in the dark; z – *Ph. laetevirens* with diesel fuel at the light;  
д – *L. nordgaardii* с diesel fuel at the light (marked with arrows)

Наличие даже слабого роста лабораторных культур цианобактерий в присутствии НУ в темноте может указывать на способность указанных штаммов цианобактерий к гетеротрофному существованию в данных условиях, а также на снижение токсичности нефтепродукта в пробирках из-за деградации углеводов ассоциированными с цианобактериями гетеротрофными бактериями при отсутствии света.

В пользу первого предположения свидетельствует доказанный факт способности некоторых видов цианобактерий переходить на гетеротрофное питание [24; 25]; в пользу второго – наличие тесных взаимосвязей между слизистыми чехлами цианобактерий и ассоциированными на них гетеротрофными бактериями, углеводородокисляющая активность которых может увеличиваться в присутствии в среде продуктов метаболизма цианобактерий, образующихся в том числе и в темноте [2; 23; 26].

Отсутствие видимого роста смешанных культур цианобактерий (смешанной культуры двух видов *Leptolyngbya sp.*) в пробирках с ДТ как на свету, так и в темноте может указывать либо на токсичность ДТ для данных микроорганизмов, либо на их неспособность к росту при изменении условий культивирования. Подобные выводы были сделаны и другими исследователями после изучения культур цианобактерий *Halomicronema excentricum* [6; 23] и *Microcoleus chthonoplasts* [6].

## Заключение

При исследовании таксономической структуры эпифитных бактериальных сообществ в загрязненных акваториях отмечалась большая доля цианобактерий и слабый рост чистых культур в условиях лаборатории. Можно сделать предположение, что сформировавшееся в загрязненной НУ природной среде сообщество цианобактерий не всегда удастся культивировать в лабораторных условиях на питательных средах с добавлением НУ. При этом с большой долей уверенности можно утверждать, что цианобактериальное сообщество южного колена Кольского залива является устойчивым к хроническому нефтяному загрязнению.

## Библиографический список

1. Abed R. M. M., Dobretsov S., Sudesh K. Applications of cyanobacteria in biotechnology // Journal of Applied Microbiology. 2009. V. 106, Iss. 1. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03918.x>.
2. Abed R. M. M. Interaction between cyanobacteria and aerobic heterotrophic bacteria in the degradation of hydrocarbons // International Biodeterioration & Biodegradation. 2010. V. 64, Iss. 1. P. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.10.008>.
3. Al-Thukair A. A., Abed R. M. M., Mohamed L. Microbial community of cyanobacteria mats in the intertidal zone of oil-polluted coast of Saudi Arabia // Marine Pollution Bulletin. 2007. V. 54, Iss. 2. P. 173–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.043>.
4. Sánchez O., Diestra E., Esteve I., Mas J. Molecular characterization of an oil-degrading cyanobacterial consortium // Microbial Ecology. 2005. V. 50, Iss. 4. P. 580–588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-005-5061-4>.
5. Sánchez O., Ferrera I., Vigués N., deOteyza T. G., Grimalt J. [et al.]. Role of cyanobacteria in oil biodegradation by microbial mats // International Biodeterioration & Biodegradation. 2006. V. 58, Iss. 3–4. P. 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.06.004>.
6. Llíros M., Gaju N., Oteyza T. G., Grimalt J. O. [et al.]. Microcosm experiments of oil degradation by microbial mats. II. The changes in microbial species // Science of the Total Environment. 2008. V. 393, Iss. 1. P. 39–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.034>.
7. Сопрунова О. Б. Циано-бактериальные консорциумы в очистке сточных вод // Исследовано в России : электронный журнал. 2005. № 11. С. 113–120. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/011.pdf>.
8. Гальперина А. Р. Разработка приемов биоремедиации замазученных сточных вод: автореф дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08, 03.01.06. Уфа, 2012. 23 с.
9. Chaillan F., Gouger M., Saliot A., Couté A., Oudot J. Role of cyanobacteria in the biodegradation of crude oil by a tropical cyanobacterial mat // Chemosphere. 2006. V. 62, Iss. 10. P. 1574–1582. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.050>.
10. William S., Feil H., Copeland A. Bacterial genomic DNA isolation using CTAB. URL: <https://jgi.doe.gov/wp-content/uploads/2014/02/JGI-Bacterial-DNA-isolation-CTAB-Protocol-2012.pdf>.
11. Angel R., Conrad R. Elucidating the microbial resuscitation cascade in biological soil crusts following a simulated rain event // Environmental Microbiology. 2013. V. 15, Iss. 10. P. 2799–2815. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12140>.
12. Горбенко Ю. А. Экология морских микроорганизмов перифитона. Киев : Наук. думка, 1977. 252 с.
13. Pugovkin D. V., Liaimer A., Jensen J. B. Epiphytic bacterial communities of the alga *Fucus vesiculosus* in oil-contaminated water areas of the Barents Sea // Doklady Biological Sciences. Pleiades Publishing. 2016. V. 471, Iss. 1. P. 269–271. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0012496616060053>.
14. Пуговкин Д. В. Эпифитные бактериоценозы *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря и их роль в деградации нефтяных загрязнений: дис. ... канд. биол. наук : 25.00.28. Мурманск, 2017. 146 с.
15. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil / Part 2: Oscillatoriales. Berlin : Springer Spektrum, 2007, edition (May 12, 2005). 759 p. (Süßwasserflora von Mitteleuropa = Freshwater Flora of Central Europe. Bd. 19/2 / Hrsg./ Eds: B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl).
16. Komárek J., Kaštovský J., Mareš J., Johansen J. R. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach = Taxonomické hodnocení cyanoprokaryot (cyanobakteriální rody) v roce 2014 podle polyfázického přístupu // Preslia. 2014. V. 86. P. 295–335.
17. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil / Part 1: Chroococcales. Berlin : Springer Spektrum, 1998 (Reprint 2008). 548 p. (Süßwasserflora von Mitteleuropa = Freshwater Flora of Central Europe. Bd. 19/1).
18. Гапочка Л. Д. Об адаптации водорослей. М. : МГУ, 1981. 80 с.
19. Raghukumar C., Vipparthy V., David J., Chandramohan D. Degradation of crude oil by marine cyanobacteria // Applied Microbiology and Biotechnology. 2001. V. 57, Iss. 3. P. 433–436. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002530100784>.
20. Кабилов Р. Р., Минибаев Р. Г. Влияние нефти на почвенные водоросли // Почвоведение. 1982. № 1. С. 86–91.
21. Линькова М. А. Влияние нефтяного загрязнения на фототрофные организмы в присутствии нефтеокисляющих бактерий // Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды : материалы II Всесоюз. конф.: тез. докл. Пущино : Науч. центр биол. исслед. АН СССР, 1979. С. 20–21.

22. Гусев М. В., Линькова М. А., Коронелли Т. В. Влияние нефтяных углеводородов на жизнеспособность цианобактерий в ассоциации с нефтеокисляющими бактериями // Микробиология. 1982. Т. 51, № 6. С. 932–936.

23. Abed R. M. M., Köster J. The direct role of aerobic heterotrophic bacteria associated with cyanobacteria in the degradation of oil compounds // International Biodeterioration & Biodegradation. 2005. V. 55, Iss. 1. С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.07.001>.

24. More J. E., Williams M. M., Smith A. J. Features of organic growth substrate utilization by cyanobacteria // Abstracts of the Third International Symposium on Photosynthetic Prokaryotes / ed. J. M. Nichols. Oxford, 1979. P. 49.

25. Radwan S. S., Al-Hasan R. H. Oil pollution and cyanobacteria // The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space / Eds: B. A. Whitton, M. Potts. Springer Dordrecht, 2000. P. 307–319. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7\\_11](https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7_11).

26. Subashchandrabose S. R., Ramakrishnan B., Megharaj M., Venkateswarlu K., Naidu R. Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria: Biotechnological potential // Biotechnology Advances. 2011. V. 29, Iss. 6. P. 896–907. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.07.009>.

## References

1. Abed R. M. M., Dobretsov S., Sudesh K. Applications of cyanobacteria in biotechnology // Journal of Applied Microbiology. 2009. V. 106, Iss. 1. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03918.x>.

2. Abed R. M. M. Interaction between cyanobacteria and aerobic heterotrophic bacteria in the degradation of hydrocarbons // International Biodeterioration & Biodegradation. 2010. V. 64, Iss. 1. P. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.10.008>.

3. Al-Thukair A. A., Abed R. M. M., Mohamed L. Microbial community of cyanobacteria mats in the intertidal zone of oil-polluted coast of Saudi Arabia // Marine Pollution Bulletin. 2007. V. 54, Iss. 2. P. 173–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.043>.

4. Sánchez O., Diestra E., Esteve I., Mas J. Molecular characterization of an oil-degrading cyanobacterial consortium // Microbial Ecology. 2005. V. 50, Iss. 4. P. 580–588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-005-5061-4>.

5. Sánchez O., Ferrera I., Vigués N., deOteyza T. G., Grimalt J. [et al.]. Role of cyanobacteria in oil biodegradation by microbial mats // International Biodeterioration & Biodegradation. 2006. V. 58, Iss. 3–4. P. 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.06.004>.

6. Llíros M., Gaju N., Oteyza T. G., Grimalt J. O. [et al.]. Microcosm experiments of oil degradation by microbial mats. II. The changes in microbial species // Science of the Total Environment. 2008. V. 393, Iss. 1. P. 39–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.034>.

7. Soprunova O. B. Tsiano-bakterialnye konsortsiumy v ochistke stochnyh vod [Cyanobacterial consortia in wastewater treatment] // Issledovano v Rossii : elektronnyi zhurnal. 2005. T 11. P. 113-120. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/011.pdf>.

8. Galperina A. R. Razrabotka priemov bioremediatsii zamazuchennyh stochnyh vod [Development of methods for bioremediation of contaminated wastewater]: avtoref dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.08, 03.01.06. Ufa, 2012. 23 p.

9. Chaillan F., Gouger M., Saliot A., Couté A., Oudot J. Role of cyanobacteria in the biodegradation of crude oil by a tropical cyanobacterial mat // Chemosphere. 2006. V. 62, Iss. 10. P. 1574–1582. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.050>.

10. William S., Feil H., Copeland A. Bacterial genomic DNA isolation using CTAB. URL: <https://jgi.doe.gov/wp-content/uploads/2014/02/JGI-Bacterial-DNA-isolation-CTAB-Protocol-2012.pdf>.

11. Angel R., Conrad R. Elucidating the microbial resuscitation cascade in biological soil crusts following a simulated rain event // Environmental Microbiology. 2013. V. 15, Iss. 10. P. 2799–2815. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12140>.

12. Gorbenko Yu. A. Ekologiya morskikh mikroorganizmov perifitona [Ecology of marine microorganisms of the periphyton]. Kiev : Nauk. dumka, 1977. 252 p.

13. Pugovkin D. V., Liaimer A., Jensen J. B. Epiphytic bacterial communities of the alga *Fucus vesiculosus* in oil-contaminated water areas of the Barents Sea // Doklady Biological Sciences. Pleiades Publishing. 2016. V. 471, Iss. 1. P. 269–271. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0012496616060053>.

14. Pugovkin D. V. Epifitnye bakteriotsenozy *Fucus vesiculosus* L. Barentseva morya i ih rol v degradatsii neftyanyh zagryazneniy [Epiphytic bacteriocenosis of *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea and their role in the degradation of oil pollution]: dis. ... kand. biol. nauk : 25.00.28. Murmansk, 2017. 146 p.

15. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil / Part 2: Oscillatoriales. Berlin : Springer Spektrum, 2007, edition (May 12, 2005). 759 p. (Süßwasserflora von Mitteleuropa = Freshwater Flora of Central Europe. Bd. 19/2 / Hrsg./ Eds: B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl).

16. Komárek J., Kaštovský J., Mareš J., Johansen J. R. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach = Taxonomické hodnocení cyanoprokaryot (cyanobakteriální rody) v roce 2014 podle polyfázického přístupu // *Preslia*. 2014. V. 86. P. 295–335.
17. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil / Part 1: Chroococcales. Berlin : Springer Spektrum, 1998 (Reprint 2008). 548 p. (Süßwasserflora von Mitteleuropa = Freshwater Flora of Central Europe. Bd. 19/1).
18. Gapochka L. D. Ob adaptatsii vodorosley [On adaptation of algae]. M. : MGU, 1981. 80 p.
19. Raghukumar C., Vipparthy V., David J., Chandramohan D. Degradation of crude oil by marine cyanobacteria // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2001. V. 57, Iss. 3. P. 433–436. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002530100784>.
20. Kabirov R. R., Minibaev R. G. Vliyanie nefiti na pochvennyye vodorosli [The impact of oil on soil algae] // *Pochvovedenie*. 1982. N 1. P. 86–91.
21. Linkova M. A. Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na fototrofnyye organizmy v prisutstvii nefteokislyayuschih bakteriy [The influence of oil pollution on phototrophic organisms in the presence of oil-oxidizing bacteria] // *Mikrobiologicheskie metody borby s zagryazneniem okruzhayushey sredy : materialy II Vsesoyuz. konf.: tez. dokl. Puschino : Nauch. tsentr biol. issled. AN SSSR, 1979. P. 20–21.*
22. Gusev M. V., Linkova M. A., Koronelli T. V. Vliyanie neftyanyh uglevodorodov na zhiznesposobnost tsianobakteriy v assotsiatsii s nefteokislyayuschimi bakteriyami [The influence of petroleum hydrocarbons on the viability of cyanobacteria in association with oil-oxidizing bacteria] // *Mikrobiologiya*. 1982. V. 51, N 6. P. 932–936.
23. Abed R. M. M., Köster J. The direct role of aerobic heterotrophic bacteria associated with cyanobacteria in the degradation of oil compounds // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2005. V. 55, Iss. 1. C. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.07.001>.
24. More J. E., Williams M. M., Smith A. J. Features of organic growth substrate utilization by cyanobacteria // *Abstracts of the Third International Symposium on Photosynthetic Prokaryotes / ed. J. M. Nichols. Oxford, 1979. P. 49.*
25. Radwan S. S., Al-Hasan R. H. Oil pollution and cyanobacteria // *The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space / Eds: B. A. Whitton, M. Potts. Springer Dordrecht, 2000. P. 307–319. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7\\_11](https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7_11).*
26. Subashchandrabose S. R., Ramakrishnan B., Megharaj M., Venkateswarlu K., Naidu R. Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria: Biotechnological potential // *Biotechnology Advances*. 2011. V. 29, Iss. 6. P. 896–907. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.07.009>.

#### Сведения об авторах

**Пуговкин Дмитрий Витальевич** – ул. Владимирская, 17, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН; канд. биол. наук, науч. сотрудник; e-mail: [Pugovkin2005@yandex.ru](mailto:Pugovkin2005@yandex.ru)

**Pugovkin D. V.** – 17, Vladimirskaia Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Researcher; e-mail: [Pugovkin2005@yandex.ru](mailto:Pugovkin2005@yandex.ru)

**Мирошниченко Екатерина Сергеевна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, канд. биол. наук; e-mail: [MirCyano@gmail.com](mailto:MirCyano@gmail.com)

**Miroshnichenko E. S.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Cand. of Biol. Sci.; e-mail: [MirCyano@gmail.com](mailto:MirCyano@gmail.com)

**Воскобойников Г. М.** – ул. Владимирская, 17, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН; д-р биол. наук, профессор; e-mail: [grvosk@mail.ru](mailto:grvosk@mail.ru)

**Voskoboinikov G. M.** – 17, Vladimirskaia Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS; Dr of Biol. Sci., Professor; e-mail: [grvosk@mail.ru](mailto:grvosk@mail.ru)

**Йенсен Джон Бек** – г. Тромсе, Норвегия 9037; Университет Тромсе – Арктический университет Норвегии; PhD, доцент; e-mail: [john.jensen@uit.no](mailto:john.jensen@uit.no)

**Jensen J. B.** – 9037 Tromsø, Norway; UiT – The Arctic University of Norway; PhD, Associate Professor; e-mail: [john.jensen@uit.no](mailto:john.jensen@uit.no)

**Ляймер Антон Владимирович** – г. Тромсе, Норвегия 9037; Университет Тромсе – Арктический университет Норвегии; PhD, доцент; e-mail: [anton.liaimer@uit.no](mailto:anton.liaimer@uit.no)

**Liaimer A. V.** – 9037 Tromsø, Norway; UiT – The Arctic University of Norway; PhD, Associate Professor; e-mail: [anton.liaimer@uit.no](mailto:anton.liaimer@uit.no)

D. V. Pugovkin, E. S. Miroshnichenko, G. M. Voskoboinikov,  
J. B. Jensen, A. V. Liaimer

### **On the resistance of epiphytic cyanobacteria of the Kola Bay to the effects of oil hydrocarbons in the aquatic ecosystem**

The epiphytic communities of cyanobacteria of *Fucus vesiculosus* L. of the Kola Bay are able to bear the high amounts of the oil products in the environment. The results of studying the resistance of epiphytic cyanobacterial communities to oil pollution using both classical (cultural) and molecular-genetic methods of microbiological analysis have been presented. The objects of the study are the epiphytic cyanobacterial communities living on the surface of brown algae *Fucus vesiculosus* L. The percentage of this group of microorganisms in epiphytic bacteriocenosis in the water chronically polluted with oil products reaches 6.8 %. Morphologically epiphytic cyanobacteria are represented by single cells, filaments and colonial forms with small (1–2  $\mu\text{m}$ ) cells. The experiments of determining the resistance of epiphytic cyanobacterial communities to oil pollution have been carried out. There is no visible growth during the work with pure cultures of cyanobacteria in media with addition of diesel fuel. In cultures exposed in the dark, there is an increase in the intensity of the blue staining of the filaments. The survival of cyanobacteria in the long period of darkness in the presence of oil products can indicate a transition from autotrophic nutrition to heterotrophic, as well as a high adaptive ability of epiphytic cyanobacterial communities of fucus algae to the conditions of chronic oil pollution.

**Key words:** oil hydrocarbon, epiphytic cyanobacteria, hydrocarbon-oxidizing bacteria, *Fucus vesiculosus*.