

Научная статья

УДК 574.51

doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.045

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ВОДОЕМОВ АПАТИТО-КИРОВСКОГО РАЙОНА ЛЕТОМ 2024 ГОДА

Андрей Михайлович Палатников¹, Елена Викторовна Макаревич², Надежда Викторовна Фокина³

^{1, 2}Медико-биологический институт Мурманского арктического университета, Мурманск, Россия

³Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹palatnikov.am@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6301-4193>

²makarevich@mauniver.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1987-275X>

³nadezdavf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5252>

Аннотация

Приведены результаты исследования влияния факторов антропогенной деятельности на структурные характеристики бактериопланктона отдельных участков водоемов Апатито-Кировского района (озёр Малый Вудъявр, Имандра, Большой Вудъявр). Общая численность бактериопланктона в Малом Вудъявре составила $7,93 \times 10^4$ кл/мл, в Имандре — $70,15 \times 10^4$ кл/мл, в Большом Вудъявре — $192,7 \times 10^4$ кл/мл. Наибольшее количество клеток мезофильных евтрофных бактерий и углеводородокисляющих бактерий обнаружено в оз. Большой Вудъявр.

Ключевые слова:

бактериопланктон, внутренние водоемы Арктической зоны, антропогенные факторы

Для цитирования:

Палатников А. М., Макаревич Е. В., Фокина Н. В. Влияние антропогенных факторов на структуру бактериопланктона отдельных участков водоемов Апатито-Кировского района летом 2024 года // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 2. С. 265–269. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.045.

Original article

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE STRUCTURE OF BACTERIOPLANKTON IN INDIVIDUAL SECTIONS OF RESERVOIRS IN THE APATITY-KIROVSK REGION IN THE SUMMER OF 2024

Andrey M. Palatnikov¹, Elena V. Makarevich², Nadezhda V. Fokina³

^{1, 2}Medical and Biological Institute of Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

³Institute of Industrial Ecology Problems—Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

¹palatnikov.am@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6301-4193>

²makarevich@mauniver.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1987-275X>

³nadezdavf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5252>

Abstract

The results of a study of the influence of anthropogenic factors on the structural characteristics of bacterioplankton in individual sections of reservoirs in the Apatity-Kirovsk region (Lake Maly Vudyavr, Lake Imandra, Lake Bolshoy Vudyavr) are presented. The total number of bacterioplankton in the Maly Vudyavr was 7.93×10^4 cells/ml, in the Imandra— 70.15×10^4 cells/ml, in the Bolshoy Vudyavr— 192.7×10^4 cells/ml. The largest number of cells of mesophilic eutrophic bacteria and hydrocarbon-oxidizing bacteria were found in Bolshoy Vudyavr Lake.

Keywords:

bacterioplankton, inland waters of the Arctic zone, anthropogenic factors

For citation:

Palatnikov A. M., Makarevich E. V., Fokina N. V. Influence of anthropogenic factors on the structure of bacterioplankton in individual sections of reservoirs in the Apatity-Kirovsk region in the summer of 2024 // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 265–269. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.045.

Введение

В течение последних лет наблюдается планомерное развитие различных отраслей экономики Мурманской области, в том числе и промышленной. Это ведет к усилению воздействия антропогенной деятельности на природные экосистемы Кольского Севера, в особенности на внутренние водоемы. Климатические особенности Арктики придают особую специфику ее гидроэкосистемам, делая их высокочувствительными к различным колебаниям условий окружающей среды [1]. Воздействие антропогенных факторов в условиях климата арктической зоны может привести к значительным изменениям в структуре гидроэкосистем и угнетению процессов самоочищения. Одним из основных компонентов биоты водоемов является гетеротрофный бактериопланктон, осуществляющий деструкцию органических соединений и возвращение биогенных элементов в круговорот веществ. Гетеротрофный бактериопланктон выступал в роли объекта исследования в различных научных работах [2–6].

Целью проведенного исследования была оценка влияния антропогенных факторов на структуру бактериопланктона отдельных участков озёр Имандра и Большой Вудъявр Апатито-Кировского района в летний период 2024 г. в сравнении с показателями оз. Малый Вудъявр, выбранного в качестве фонового объекта.

Материалы и методы

Для получения образцов были выбраны отдельные участки водоемов Апатито-Кировского района: оз. Имандра, оз. Большой Вудъявр и оз. Малый Вудъявр, выступающий в роли фонового объекта, слабо подверженного антропогенному влиянию. Исследуемый участок оз. Имандра также был расположен вдали от городской среды. Озеро Большой Вудъявр отличалось поступлением в него хозяйственно-бытовых и промышленных стоков от г. Кировска и прилегающих промышленных территорий.

Пробы были отобраны с поверхностного слоя воды (0,5 м) в соответствии с ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006) в летний период 2024 г. В момент отбора было произведено измерение температуры непосредственно воды поверхностного слоя и окружающего воздуха, а также водородного показателя среды.

Исследуемые группы бактерий были условно разделены на основные — олиготрофные бактерии (ОБ) и евтрофные бактерии (ЕБ) — и функциональные группы: углеводородокисляющие бактерии (УБ), бактерии, способные использовать неорганический фосфор (НФБ) или органический фосфор (ОФБ) для получения энергии.

Численность бактериальных групп определяли методом предельных разведений на жидких питательных средах ММС [7] с добавлением селективных факторов: дизельного топлива в концентрации 1 % от объема среды для углеводородокисляющих бактерий, лецитина 5 г/л для ОФБ, K_2HPO_4 1 г/л и KH_2PO_4 0,5 г/л для НФБ. Для определения олиготрофных бактерий использовали среду ММС без добавления селективного фактора, а для евтрофных бактерий использовали мясопептонный бульон (МПБ). Инкубация посевов осуществлялась при 10 °С в течение двух месяцев, так как аборигенная микробиота водоемов Арктики представлена психрофильно-олиготрофными формами.

Численность сапротрофных бактерий определяли на среде МПБ при температуре инкубирования 37 °С по истечении семи суток. Микроорганизмы аллохтонного происхождения являются индикаторами антропогенного загрязнения, в том числе фекального. Нередко представители данной группы относятся к микробиоте организма человека и животных [8]. Потенциально они могут являться условно-патогенными и патогенными бактериями, опасными для человека.

Общее число бактерий (ОЧБ) было определено методом прямого счета при помощи микроскопа Olympus (West Germany) при общем увеличении $\times 1000$ с подсчетом на 30 полях зрения. Пробу, окрашенную акридиновым оранжевым, фильтровали через фильтры Nucleopore с диаметром пор 0,2 мкм [9; 10].

Чтобы получить более наглядное и точное представление о бактериопланктоне, применили модифицированный коэффициент Разумова [7] — процентное соотношение численности определенной физиологической группы бактерий к общей численности бактериопланктона. Это дало возможность рассчитать относительную численность основных и функциональных групп бактериопланктона

в процентах для каждого изученного водоема. Относительные величины зачастую более информативны, чем абсолютные значения, полученные непосредственно в эксперименте, и дают возможность более точно охарактеризовать бактериопланктон посредством анализа его структуры.

Результаты

Во время взятия образцов, температура воздуха и воды составляли: для Малого Вудъявра 20,0 и 6,0 °С, для Имандры — 15,0 и 7,0 °С и для Большого Вудъявра — 17,0 и 9,0 °С соответственно. Кислотность воды в оз. Имандра была нейтральной (рН 7,392) и близка к показателям контрольного объекта (рН 7,570), в то время как в Большом Вудъявре зафиксирована щелочная среда (рН 10,380).

Общая численность бактериопланктона в точке отбора оз. Большой Вудъявр составила $192,7 \times 10^4$ кл/мл, оз. Имандра — $70,15 \times 10^4$ кл/мл, а в оз. Малый Вудъявр — $7,93 \times 10^4$ кл/мл. Относительно данного показателя в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 вода фоновое оз. Малый Вудъявр отнесена к очень чистому классу качества вод (I), оз. Имандра — чистому (II), а оз. Большой Вудъявр — умеренно загрязненному (III). Вода исследуемых участков озёр Имандра и Малый Вудъявр имеет олигосапробный статус, а оз. Большой Вудъявр — бетамезосапробный.

Наибольшее количество сапротрофных бактерий зафиксировано в пробе воды оз. Большой Вудъявр (таблица). Бактерии, использующие минеральный фосфор, по абсолютной и относительной численности преобладали над бактериями, использующими органический фосфор. В структуре бактериальных сообществ воды оз. Большой Вудъявр преобладали углеводородокисляющие бактерии (см. табл.).

Количественные показатели структуры бактериопланктона
исследуемых участков выбранных водоемов

Показатель	Малый Вудъявр		Имандра		Большой Вудъявр	
	Численность группы, кл/мл	Доля от ОЧБ, %	Численность группы, кл/мл	Доля от ОЧБ, %	Численность группы, кл/мл	Доля от ОЧБ, %
Сапротрофные бактерии	25	—	25	—	450	—
Евтрофные бактерии	2 500	3,15	25 000	3,56	950	0,05
Олиготрофные бактерии	2 000	2,52	9500	1,35	45	0,002
Бактерии, аккумулирующие неорганический фосфор	450	0,57	450	0,01	750	0,04
Бактерии, аккумулирующие органический фосфор	9	0,01	45	0,01	450	0,02
Углеводородокисляющие бактерии	20	0,03	150	0,02	4500	0,23

Для оценки степени самоочищения водоемов использовали коэффициент самоочищения (K_c) [3; 11; 12], модифицированный в рамках данной работы с учетом региональных особенностей, формула 1:

$$K_c = \frac{N_{10}}{N_{37}}, \quad (1)$$

где N_{10} — количество бактерий, выросших при температуре инкубации 10 °С; N_{37} — количество бактерий, выросших при температуре инкубации 37 °С.

Как видно из таблицы, численность аборигенной психрофильной евтрофной микробиоты значительно преобладает над численностью сапротрофных бактерий. Малая численность сапротрофов связана с их преимущественно аллохтонным происхождением, что выражено в их неприспособленности к бедной питательными веществами водной среде в условиях низких температур.

Значительное расхождение в численности мезофильных и психрофильных евтрофных бактерий стало следствием широкого диапазона коэффициентов самоочищения (K_c) у исследуемых водоемов.

Наибольшее значение коэффициента принадлежит оз. Имандра (1 000), что на порядок больше значений в фоновом объекте — оз. Малый Вудъявр (100). Высокие значения коэффициента

свидетельствуют о высокой степени самоочищения данных водоемов. По сравнению с вышеуказанными гидроэкосистемами, оз. Большой Вудъявр выделяется очень малым значением $K_c(2,1)$, что указывает на низкую степень самоочищения.

Аномальное расхождение значений коэффициента может быть обусловлено применением иных методик учета численности бактерий с использованием жидких питательных сред по методу предельных разведений вместо плотных питательных сред для нахождения общего микробного числа (ОМЧ), а также специфическими условиями инкубирования.

Выводы

Таким образом, вода в озерах Имандра и Малый Вудъявр характеризуется как олигосапробная и отнесена к II и I классам качества вод соответственно. В то же время оз. Большой Вудъявр демонстрирует бетамезосапробный статус и соответствие III классу качества по общей численности бактериопланктона. Бактериальное сообщество исследуемого участка поверхностного слоя воды Большого Вудъявра продемонстрировало наименьший коэффициент самоочищения и наибольшую численность углеводородокисляющих бактерий по сравнению с остальными водоемами. Структура бактериопланктона в точке отбора оз. Имандра во многом подобна соответствующим показателям оз. Малый Вудъявр и характеризуется высокой численностью евтрофных и олиготрофных бактерий и малой численностью бактерий функциональных групп.

Список источников

1. Методы экологических исследований водоемов Арктики: научное издание / С. С. Сандимиров [и др.]. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2019. 180 с.
2. Алиева Ф. З. Пространственно-временные характеристики распределения бактериопланктона в верхней части гидрокомплекса Тактакорпю // Вода: химия и экология. 2023. № 1. С. 8–12.
3. Современное состояние бактериопланктона оз. Ильмень / Л. Л. Капустина [и др.] // Труды ВНИРО. 2023. Т. 193. С. 140–151.
4. Распределение, размерно-морфологическая структура и продукция гетеротрофного бактериопланктона Горьковского водохранилища / Е. В. Кузнецова [и др.] // Биология внутренних вод. 2023. № 1. С. 7–19.
5. Митрукова Г. Г., Капустина Л. Л., Курашов Е. А. Динамика состояния бактериопланктона Щучьего залива Ладожского озера после закрытия Приозерского ЦБК // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. Вып. 3 (87). С. 66–74.
6. Гетеротрофный бактериопланктон эстуария Оби в вегетационный сезон: пространственная и временная изменчивость / Н. Д. Романова [и др.] // Океанология. 2022. Т. 62, № 3. С. 428–438.
7. Ильинский В. В., Мошарова И. В., Корсак М. Н. Экологический мониторинг водных экосистем на основе нового микробиологического метода // Безопасность в техносфере. 2016. Вып. 5 (4). С. 23–29.
8. Богданова О. Ю. Распределение гетеротрофного бактериопланктона водных экосистем Кольского Севера. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. 72 с.
9. Рылькова О. А., Поликарпов И. Г., Сабурова М. А. Оценка сопоставимости двух методов количественного учета морского гетеротрофного бактериопланктона // Экология моря. 2003. Т. 64. С. 109–115.
10. Francisco D. E., Mah R. A., Rabin A. C. Acridine orange-epifluorescence technique for counting bacteria in natural waters // Transactions of the American Microscopical Society. 1973. P. 416–421.
11. Перетрухина А. Т., Блинова Е. И. Бактериальное самоочищение озер г. Мурманска // Международный журнал экспериментального образования. 2011. № 6. С. 12.
12. Разработка методологии микробиологического мониторинга водных экосистем бассейна Кольского залива / А. Т. Перетрухина [и др.] // Фундаментальные исследования. 2011. № 1. С. 22–28.

References

1. Sandimirov S. S., Kudrjavceva L. P., Dauval'ter V. A., Denisov D. B., Kosova A. L., Cherepanov A. A., Vandysh O. I., Val'kova S. A., Terent'eva P. M., Koroljova I. M., Zubova E. M., Kashulin N. A. *Metody ekologicheskijh issledovanij vodoemov Arktiki* [Methods of ecological research of Arctic reservoirs]. Murmansk, MSTU Publishing House, 2019. 180 p. (In Russ.).
2. Alieva F. Z. Prostranstvenno-vremennye harakteristiki raspredelenija bakterioplanktona v verhnjej chasti gidrokompleksa Taktakorpyu [Spatial and temporal characteristics of the distribution of bacterioplankton in the upper part of the Taktakorpyu hydrocomplex]. *Voda: himija i jekologija* [Water: chemistry and ecology], 2023, No. 1, pp. 8–12. (In Russ.).

3. Kapustina L. L., Bystrova A. A., Prishhepa A. S., Solov'eva E. M. Sovremennoe sostojanie bakterioplanktona oz. Il'men' [The current state of bacterioplankton in the lake Ilmen]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO], 2023, Vol. 193, pp. 140–151. (In Russ.).
4. Kuznecova E. V., Kosolapov D. B., Mikrjakova I. S., Kosolapova N. G., Maslennikova T. S., Skopina M. Ju. Raspredelenie, razmerno-morfologicheskaja struktura i produkcija geterotrofnogo bakterioplanktona Gor'kovskogo vodohranilishha [Distribution, size and morphological structure and production of heterotrophic bacterioplankton of the Gorky reservoir]. *Biologija vnutrennih vod* [Biology of inland waters], 2023, No. 1, pp. 7–19. (In Russ.).
5. Mitrukova G. G., Kapustina L. L., Kurashov E. A. Dinamika sostojanija bakterioplanktona Shchuch'ego zaliva Ladozhskogo ozera posle zakrytija Priozerskogo CBK [Dynamics of the bacterioplankton state of the Shchuchy Bay of Lake Ladoga after the closure of Priozersky CBC]. *Voda i jekologija: problemy i reshenija* [Water and ecology: problems and solutions], 2021, Vol. 3(87), pp. 66–74. (In Russ.).
6. Romanova N. D., Boltenkova M. A., Poluhin A. A., Bezzubova E. M., Shhuka S. A. Geterotrofnyj bakterioplankton estuarija Obi v vegetacionnyj sezon: prostranstvennaja i vremennaja izmenchivost' [Heterotrophic bacterioplankton of the Ob estuary during the growing season: spatial and temporal variability]. *Okeanologija* [Oceanology], 2022, Vol. 62, No. 3, pp. 428–438. (In Russ.).
7. Il'inskij V. V., Mosharova I. V., Korsak M. N. Ekologicheskij monitoring vodnyh jekosistem na osnove novogo mikrobiologicheskogo metoda [Ecological monitoring of aquatic ecosystems based on a new microbiological method]. *Bezopasnost' v tehnosfere* [Safety in the technosphere], 2016, Vol. 5 (4), pp. 23–29. (In Russ.).
8. Bogdanova O. Ju. *Raspredelenie geterotrofnogo bakterioplanktona vodnyh ekosistem Kol'skogo Severa* [Distribution of heterotrophic bacterioplankton in aquatic ecosystems of the Kola North]. Murmansk, MSTU Publishing House, 2017, 72 p. (In Russ.).
9. Ryl'kova O. A., Polikarpov I. G., Saburova M. A. Ocenka sopostavimosti dvuh metodov kolichestvennogo ucheta morskogo geterotrofnogo bakterioplanktona [Assessment of comparability of two methods of quantitative accounting of marine heterotrophic bacterioplankton]. *Ekologija morja* [Ecology of the sea], 2003, Vol. 64, pp. 109–115. (In Russ.).
10. Francisco D. E., Mah R. A., Rabin A. C. Acridine orange-epifluorescence technique for counting bacteria in natural waters. *Transactions of the American Microscopic Society*, 1973, pp. 416–421.
11. Peretruhina A. T., Blinova E. I. Bakterial'noe samoochishhenie ozer g. Murmanska [Bacterial self-purification of Murmansk lakes]. *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovanija* [International Journal of Experimental Education], 2011, No. 6, p. 12. (In Russ.).
12. Peretruhina A. T., Bogdanova O. Ju., Makarevich E. V., Mishhenko E. S., Novikova A. N. Razrabotka metodologii mikrobiologicheskogo monitoringa vodnyh ekosistem bassejna Kol'skogo zaliva [Development of a methodology for microbiological monitoring of aquatic ecosystems in the Kola Bay basin]. *Fundamental'nye issledovanija* [Fundamental Research], 2011, No. 1, pp. 22–28. (In Russ.).

Информация об авторах

А. М. Палатников — бакалавр;

Е. В. Макаревич — кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой;

Н. В. Фокина — кандидат технических наук, заведующая лабораторией.

Information about the authors

A. M. Palatnikov — Bachelor;

E. V. Makarevich — PhD (Biology), Associate Professor, Laboratory Head;

N. V. Fokina — PhD (Engineering), Laboratory Head.

Статья поступила в редакцию 18.08.2025; одобрена после рецензирования 08.09.2025; принята к публикации 22.09.2025.
The article was submitted 18.08.2025; approved after reviewing 08.09.2025; accepted for publication 22.09.2025.