

УДК 574.58(268.45)

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА И БАКТЕРИОПЕРИФИТОНА КАМЕНИСТЫХ СУБСТРАТОВ ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

¹Луценко Е.С., ²Москвина М.И.

¹ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»,
Мурманск, e-mail: inerlim@gmail.com;

²ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,
Москва, e-mail: m-moskvina@yandex.ru

В статье представлены результаты исследований годовой динамики общей численности бактерий планктона и перифитона на трех станциях западного берега Кольского залива Баренцева моря в период с октября 2012 по октябрь 2013 года. Количество бактерий определяли методом люминесцентной микроскопии с использованием красителя акридинового оранжевого. В день отбора проб измеряли также температуру и соленость водных масс района исследований. Показано влияние температуры окружающей среды на сезонное распределение бактерий в планктоне и перифитоне станций, выражающееся в максимальных значениях численности в весенний и летний периоды и минимальных в осенний и зимний. Плотность популяций бактерий связана с поступлением органического вещества в результате антропогенного загрязнения (станция 2) или влиянием природных факторов, таких как состав грунтов местообитания (станция 1) или воздействие фитопланктона макрофитов (станция 3). Возможно, имеет место влияние друг на друга бактериальных сообществ в литоральной зоне, выражающееся в основном в миграциях бактерий из перифитона в планктон.

Ключевые слова: бактериопланктон, бактериоперифитон, общая численность, эпилидон, годовая динамика, Кольский залив, Баренцево море

ANNUAL DYNAMICS OF BACTERIOPLANKTON AND BACTERIOPERIPHYTON POPULATIONS OF ROCK SUBSTRATES ON LITTORAL OF THE KOLA BAY (THE BARENTS SEA)

¹Lutsenko E.S., ²Moskvina M.I.

¹Murmansk State Technical University, Murmansk, e-mail: inerlim@gmail.com;

²Moscow State University n.a. M.V. Lomonosov, Moscow, e-mail: m-moskvina@yandex.ru

The article presents the results of studies of the annual dynamics of total number of bacteria in plankton and periphyton at three stations of the western shore of the Kola Bay (the Barents Sea) in the period from October 2012 to October 2013. The quantity of bacteria was measured by fluorescent microscopy using acridine orange dye. The temperature and salinity of the water masses in studied area were also measured at the day of sampling. The influence of surroundings temperature on the seasonal distribution of bacteria in the plankton and periphyton was showed at the stations, which was expressed in maximum abundances of bacteria in spring and summer periods and minimum in autumn and winter. Population density of the bacteria was associated with the income of organic matter due to anthropogenic pollution (station 2), or influence of natural factors such as the composition of sediments (station 1) and presence of macrophytes (station 3). Influence of bacterial communities in the littoral zone on each other is possible to occur as bacterial migrations of periphyton into plankton.

Keywords: bacterioplankton, bacterioperiphyton, total number, epilithon, annual dynamics, Kola Bay, the Barents Sea

Бактериальные биопленки (бактериоперифитон) – это организованные сообщества бактерий одного или нескольких видов, состоящие из активно функционирующих клеток и их покоящихся форм, включенных в покрывающий различные доступные поверхности внеклеточный матрикс [14]. Несмотря на то, что биопленки бактерий были открыты сравнительно давно [15], исследование этих микробиологических объектов приобрело систематический характер лишь в последнее десятилетие [5]. Но до сих пор сообщества бактерий обрастания в арктических морях изучены плохо, и экосистемы заливов Баренцева моря не являются исключением. Большинство исследований бактериоперифитона были выполнены в южных морях с использованием искусственных субстратов в отдельные сезоны, и анализу

подвергались молодые сообщества микробрастания [2; 4; 9; 10; 11 и др.], в то время как в нашей работе испытания проводили над уже сформированным сообществом.

Целью работы явилось исследование годовой динамики общей численности бактерий планктона и перифитона литорали Кольского залива Баренцева моря.

Материалы и методы исследования

Исследование бактериопланктона и бактериоперифитона проводили с октября 2012 по октябрь 2013 года на трех станциях, расположенных в южном и среднем коленах западного берега Кольского залива (рис. 1): станция 1 – Мыс Притыка, станция 2 – Абрам-мыс, станция 3 – бухта Белокаменка. Станции различаются гидролого-гидрохимическими характеристиками и степенью антропогенной нагрузки. Пробы воды отбирали стерильной стеклянной емкостью объемом 1 л.



Рис. 1. Карта-схема Кольского залива с обозначением станций отбора проб

Для проведения исследований бактерий эпилимтона на каждой станции во время сизигийного отлива с нижнего горизонта литорали отбирали по 3 камня в стерильные емкости, транспортировали в лабораторию, где производили сбор эпилимтона, сначала соскобом стерильным скальпелем, а затем смывом стерильной ватной палочкой с поверхности субстрата площадью 10 см² и получали суспензию микроорганизмов в пробирке с 20 мл безбактериальной морской воды.

Подсчет общей численности бактерий проводили в соответствии с общепринятыми методиками [6] с использованием акридинового оранжевого в качестве флюорохрома. Бактерии планктона (объем пробы воды 2 мл) и перифитона (объем пробы смыва 0,2 мл) концентрировали на мембранных фильтрах марки «Сынпор» с диаметром пор 0,3 мкм, предварительно погашенных суданом черным. Подсчет численности бактерий проводили на люминесцентном микроскопе МИКМЕД-2-вар.2 не менее, чем в 20 полях зрения. Количество бактерий выражали в виде $N \cdot 10^6$ кл/мл для бактериопланктона (ОЧБпл) и кл/см² для бактериоперифитона (ОЧБпф).

Температуру морской воды в день наблюдений определяли на глубине 0,5 м, погружая термометр в предохранительной оправе на 5 мин. Соленость измеряли рефрактометром марки S/Mill-E ATAGO (Япония). Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

За период исследований минимальная соленость воды (рис. 2) была зарегистриро-

вана на станции 1 – 8,5‰ (от 2 до 16‰), что в соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 [3] характеризует станцию как зону эстуарных вод. Станции 2 и 3 относятся к зонам морских вод с пониженной соленостью, так как на станции 2 средняя соленость была равна 21,3‰ (от 15 до 29‰), а на станции 3 – 27,4‰ (от 17 до 34‰).

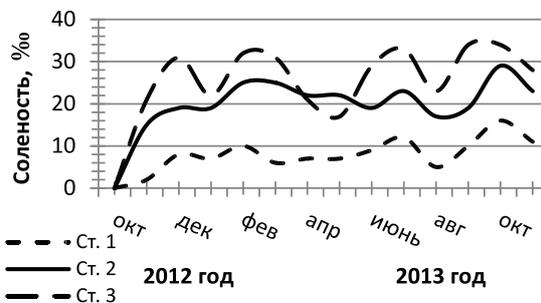


Рис. 2. Годовой ход солености вод станций

Годовой ход температуры воды на станциях был подвержен сезонным изменениям, при этом различия значений температуры по станциям оказались незначительны и, возможно, зависели от солености воды. Так, минимальные значения температур воды на станциях были в феврале (–2–1,5°C), максимальные – в июне (11,5–16,5°C) и июле (14–15°C) (рис. 3).

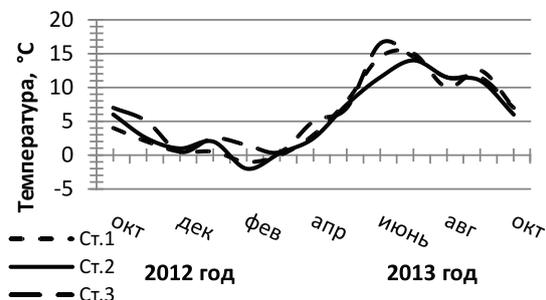


Рис. 3. Годовой ход температуры вод станций

По осредненным данным наибольшее количество бактерий планктона отмечено на станции 2 – $(2,184 \pm 0,355) \cdot 10^6$ кл/мл, средние значения ОЧБпл зарегистрированы на станции 3 $((1,736 \pm 0,352) \cdot 10^6$ кл/мл), наименьшие – на станции 1 $((1,372 \pm 0,112) \cdot 10^6$ кл/мл). Низкие значения численности бактериопланктона на станции 1, вероятно, обусловлены сильным течением и перемешиванием водных масс станции из-за впадения рек на этом участке залива. Акватория станции 2 испытывает антропогенную нагрузку в виде поступления бытовых и промышленных стоков, что приводит к увеличению плотности бактериального сообщества планктона. Станция 3

наиболее удалена от основных источников загрязнения, и сравнительно высокие значения ОЧБ на ней, по-видимому, обусловлены поступлением автохтонного органического вещества от обширной и богато населенной литорали.

В период наблюдений наименьшие значения общей численности бактериопланктона (рис. 4) были отмечены в феврале, когда температура вод станций снизилась до своего годового минимума. Наибольшие значения ОЧБпл были зарегистрированы в лет-

ний сезон, максимумы отмечены в июне 2013 года (ст. 1 – $(4,958 \pm 0,233) \cdot 10^6$ кл/мл; ст. 2 – $(7,040 \pm 0,742) \cdot 10^6$ кл/мл; ст. 3 – $(5,533 \pm 0,988) \cdot 10^6$ кл/мл), когда температура вод станций поднялась до наивысшей отметки за год. Столь значительное обилие бактерий в планктоне прибрежной зоны, по-видимому, обусловлено аномально теплым летом 2013 года, что подтверждается значимой корреляционной связью между численностью бактериопланктона и температурой водных масс ($r = 0,57$, при $p < 0,05$).

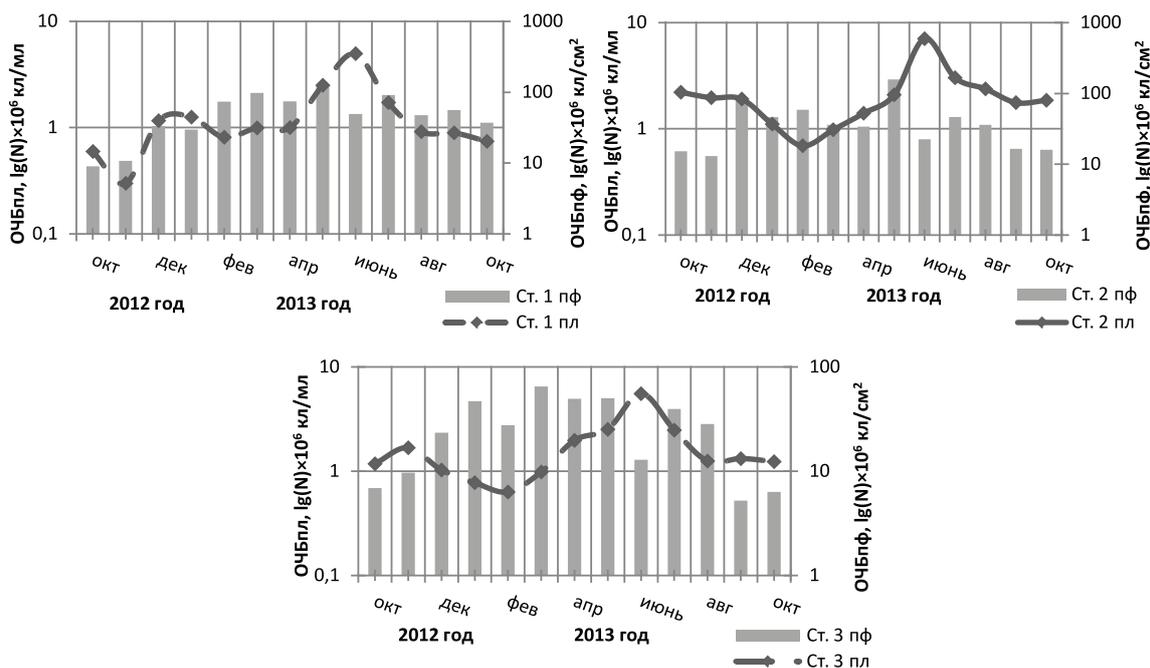


Рис. 4. Годовая динамика общей численности бактерий планктона и перифитона по станциям

Обилие микроорганизмов на всех станциях в июне 2013 года в 3–5 раз превышало ранее определенные среднегодовые значения численности бактериопланктона в южном колене Кольского залива – 1440 тыс. кл/мл [12], в то время как в остальные периоды численность бактерий была близка к этим величинам.

Распределение бактерий перифитона литорали станций показало отличную от планктонного сообщества картину: наибольшие осредненные значения ОЧБпф были характерны для станции 1 ($(56,257 \pm 11,806) \cdot 10^6$ кл/см²), средние – для станции 2 ($(44,778 \pm 10,266) \cdot 10^6$ кл/см²), наименьшие – для станции 3 ($(28,487 \pm 7,514) \cdot 10^6$ кл/см²) (рис. 4). Возможно, что на бактериоперифитон влияют особенности биотопа станций. Так, литораль станции 1 в основном состоит из илистых мелкодисперсных грунтов [7], которые при перемешивании водных масс могут осе-

дать на каменистые субстраты, полностью их покрывать и таким образом создавать собственные микроценозы, защищенные от негативного влияния изменений водного режима (осушение на отливе, затопление на приливе, высушивание летом, замораживание зимой и т.п.), что может способствовать увеличению плотности популяции бактерий эпилитона. На литорали станции 3 каменистые субстраты практически полностью покрыты макрофитами, которые также создают особые условия для существования естественных микроперифитонных сообществ. Здесь интересно отметить, что полученные в данной работе численности бактериоэпилитона были в несколько раз выше численности бактериоперифитона бурой водоросли *Laminaria saccharina*, отобранной с sublиторали Дальнезеленецкой бухты Баренцева моря [8]. В этом исследовании при использовании того же красителя,

акридинового оранжевого, обилие бактерий составило от 3 (у основания пластины макрофита в зоне интенсивного роста) до 17 млн кл/см² в верхней части таллома. Таким образом, обнаруженные нами наименьшие по сравнению с другими станциями значения численности бактерий эпилитона на станции 3 можно объяснить подавляющим воздействием зарослей макрофитов на их развитие.

В годовой динамике минимумы обилия бактерий перифитона пришлись на осенние периоды (октябрь-ноябрь 2012 г. и сентябрь-октябрь 2013 г.), ОЧБпф варьировала от $(5,211 \pm 1,518) \cdot 10^6$ кл/см² на станции 3 до $(15,239 \pm 4,782) \cdot 10^6$ кл/см² на станции 2. Вероятно, осеннее снижение численности бактерий связано с выеданием бактериальной пленки взрослыми детритофагами, а также резким снижением температур воды и воздуха, что особенно сильно влияло на литоральные биоценозы.

Численность бактерий перифитона станций достигла своих максимальных значений в марте 2013 года на станции 3 и в мае 2013 года на станциях 1 и 2, что может быть обусловлено влиянием теплоемкого субстрата (камней и обломков скал) на быстрое развитие сообщества перифитона. Максимальные значения ОЧБпф варьировали от $(64,622 \pm 6,977) \cdot 10^6$ кл/см² на станции 3 до $(157,864 \pm 33,886) \cdot 10^6$ кл/см² на станции 2.

Незначительные колебания в численности бактерий перифитона могут быть обусловлены гидрологическими и климатическими явлениями, например, интенсивным волновым перемешиванием, которое может приводить к смыву части пленки микрообрастания и спаду численности микроорганизмов. Другим фактором, влияющим на колебания численности бактериоперифитона, может быть естественный цикл развития биопленок, включающий стадию открепления части сообщества в планктон для дальнейшей миграции и расселения организмов [13].

Так как в течение исследованного промежутка времени скорость ветра была небольшой (4–5 баллов по шкале Бофорта), создаваемые им волны – невысокими и количество выпавших осадков в период с конца апреля по конец июня было минимальным за исследованный год [1], то можно предположить, что резкие и значительные скачки численности бактерий планктона и перифитона в июне 2013 года не зависели от этих климатических явлений, а явились, наряду с высокой температурой окружающей среды, следствием сезонной сукцессии бактериальных сообществ.

Заключение

В результате исследований общей численности бактерий планктона и перифитона литоральной зоны Кольского залива отмечена высокая плотность бактериальных популяций на станции 2, характеризующейся наибольшим органическим загрязнением. На других станциях (1 и 3) плотность бактериоперифитона в большей степени зависела от природных факторов, чем от антропогенного воздействия. На сезонное распределение бактерий в планктоне и перифитоне непосредственное влияние оказывала температура водных масс, а на последние, вероятно, и температура воздуха, а также не учтенная нами температура субстратов. Отмечено возможное взаимное влияние бактериальных сообществ литоральной зоны друг на друга, выражающееся в миграциях бактерий из перифитона в планктон, что, вероятно, приводит к резким сезонным колебаниям количественных характеристик бактериоценозов.

Список литературы

1. Архив погоды Мурманска. www.rp5.ru. (дата обращения 07.03.2014 г.).
2. Гапонюк Т.О. Химический состав органического вещества в перифитоне системы гидробиологической очистки морской воды // Морский экологический журнал. – 2006. – № 2, Т. V. – С. 27–32.
3. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.
4. Дорошенко Ю.В. Микрофлора акватории в районе размещения систем гидробиологической очистки морских вод // Экология моря. – 2007. – Вып. 73. – С. 36–43.
5. Коробов В.П., Лемкина Л.М., Монахов В.И. Анализ чувствительности процессов формирования биопленки *St. epidermidis* 33 к некоторым факторам внешней среды // Вестник Пермского университета, сер. «Биология». – 2010. – Вып. 1(1). – С. 59–63.
6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
7. Макаревич Е.В. Бактериобентос литорали среднего и южного колен Кольского залива: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2004. – 28 с.
8. Мишустина И.Е., Москвина М.И., Миллер Ю.М. Численность и азотфиксирующая способность бактерий-эпифитов в сопоставлении с изотопным составом углерода $\delta^{13}C$ таллома *Laminaria saccharina* во время полярных дня и ночи // Морская микробиология. Сб. научных трудов. – Владивосток: Изд. ДГУ, 1995. – С. 97–104.
9. Смирнова Л.Л. Деструкционная активность морских гетеротрофных бактерий биопленки естественных и антропогенных поверхностей // Экология моря. – 1999а. – Вып. 48. – С. 92–95.
10. Смирнова Л.Л., Николаенко Т.В., Андреева Н.А., Башинский Е.П. Химико-микробиологическая характеристика прибрежных морских вод с повышенным содержанием органического вещества // Экология моря. – 1999б. – Вып. 49. – С. 89–93.
11. Супонина А.П., Корякова М.Д., Куравый В.Г. Оценка накопительной способности микробиоценоза обрастания относительно ряда тяжелых металлов в портовых и контрольных водах морских экспериментальных коррозийно-

ных станций // Защита металлов. – 2007. – Т. 43. – № 3. – С. 320–325.

12. Широколобова Т.И. Бактериопланктонные сообщества эстуарных зон и прибрежных экосистем Баренцева моря: автореф. дис. ... канд. биол.наук. – Мурманск, 2009. – 24 с.

13. Bitton G. Encyclopedia of Environmental Microbiology. – New York: Wiley Interscience, 2002. – Vol. 1–6. – 3527 p.

14. Davey M.E., O'Toole G.A. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics // Microbiol // Mol. Biol. – 2000. – Vol. 64. – P. 847–867.

15. McCoy W.F., Bryers J.D., Robbins J., Costerton J.W. Observations of fouling biofilm formation // Can. J. Microbiol. – 1981. – Vol. 27. – P. 910–917.

References

1. Whether archive of Murmansk. www.rp5.ru. (accessed 07.03.2014).

2. Gaponyuk T.O. *Mors'kij ekologichnij zhurnal*. 2006. no. 2, T. V. pp. 27–32.

3. GOST 17.1.2.04-77. *Ohrana prirody. Gidrosfera. Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii rybohozyaystvennyh vodnyh ob'ektov*.

4. Doroshenko Yu.V. *Ekologiya morya*. 2007. Vyp. 73. pp. 36–43.

5. Korobov V.P., Lemkina L.M., Monahov V.I. *Vestnik Permskogo universiteta, ser. «Biologiya»*. 2010. Vyp. 1(1). pp. 59–63.

6. Kuznetsov S. I., Dubinina G.A. *Metody izucheniya vodnyh mikroorganizmov*. [Methods of study the water microorganisms]. Moscow, Nauka, 1989. 288 p.

7. Makarevich E.V. Bakteriobentos litorali srednego i yuzhnogo kolen Kol'skogo zaliva [Bacteriobenthos of littoral of middle and southern parts of Kola Bay]. Moscow, 2004. 28 p.

8. Mishustina I.E., Moskvina M.I., Miller Yu.M. *Morskaja mikrobiologiya. Sb.nauchnyh trudov*. [Marine microbiology. Collection of scientific works]. Vladivostok, DGU, 1995. pp. 97–104.

9. Smirnova L.L. *Ekologiya morya*. 1999a. Vyp. 48. pp. 92–95.

10. Smirnova L.L., Nikolaenko T.V., Andreeva N.A., Bashinskiy E.P. *Ekologiya morya*. 1999b. Vyp. 49. pp. 89–93.

11. Suponina A.P., Koryakova M.D., Kuryavy V.G. *Zaschita metallov*. 2007. T. 43. no. 3. pp. 320–325.

12. Shirokolobova T.I. Bakterioplanktonnye soobshchestva estuarnykh zon i pribrezhnykh ekosistem Barentseva morya [Bacterioplankton communities of estuaries and coastal ecosystems of Barents Sea] Murmansk, 2009. 24 p.

13. Bitton G. Encyclopedia of Environmental Microbiology. New York: Wiley Interscience, 2002. Vols. 1–6. 3527 p.

14. Davey M.E., O'Toole G.A. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics // Microbiol. Mol. Biol. 2000. Vol. 64. pp. 847–867.

15. McCoy W.F., Bryers J.D., Robbins J., Costerton J.W. Observations of fouling biofilm formation // Can. J. Microbiol. 1981. Vol. 27. pp. 910–917.

Рецензенты:

Перетрухина А.Т., д.б.н., профессор кафедры микробиологии и биохимии, ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», г. Мурманск;

Журавлева Н.Г., д.б.н., заведующая кафедрой биоэкологии, ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», г. Мурманск.

Работа поступила в редакцию 15.05.2014.