

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК 551.465

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОННЫХ ПИКОЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ, МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

Т.А. Белевич^{1,*}, Л.В. Ильяш¹, А.Л. Чульцова², М.В. Флинт³

¹Кафедра гидробиологии, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12;

²Северо-Западное отделение Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Россия, 163061, Архангельск, наб. Сев. Двины, д.112, корп.3;

³Институт Океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, дом 36;

*e-mail: belevich@mail.bio.msu.ru

Анализ пространственного распределения планктонных пикоцианобактерий проведен на меридиональном разрезе, проходящем через шельф Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря от 58° до 168° в.д. Численность пикоцианобактерий в Карском море составила в среднем $0,48 \pm 1,2 \cdot 10^9$ клеток/м³, в море Лаптевых – $0,16 \pm 0,24 \cdot 10^9$ клеток/м³, в Восточно-Сибирском море – $0,25 \pm 0,43 \cdot 10^9$ клеток/м³. Колебание численности пикоцианобактерий определялось наличием их аллохтонных источников – речного стока и трансформированных северо-атлантических вод. Наибольшие значения численности выявлены в районах влияния стока сибирских рек Оби, Хатанги, Индигирки и Колымы и составили $0,5 \cdot 10^9$ клеток/м³ (река Обь), $0,2 \cdot 10^9$ клеток/м³ (река Хатанга), $0,4 \cdot 10^9$ клеток/м³ (река Индигирка) и $1,6 \cdot 10^9$ клеток/м³ (река Колыма). Средний вклад пикоцианобактерий в суммарную численность и биомассу пикофитопланктона в западной части Карского моря составил 37% и 36% соответственно. В остальных исследуемых районах средний вклад пикоцианобактерий в суммарную численность фототрофного пикопланктона не превышал 7%, в суммарную биомассу – 6%. По всему массиву полученных данных выявлена высоко достоверная ($p < 0,01$) положительная связь между численностью пикоцианобактерий и температурой воды ($p = 0,003$).

Ключевые слова: пикофитопланктон, пикоцианобактерии, Арктика, Обь, Хатанга, Индигирка, Колыма

Пикоцианобактерии (ПЦБ, размер клеток менее 3 мкм) [1] являются существенным компонентом фитопланктона в Мировом океане [2], однако в экосистемах Арктики обилие ПЦБ невелико вплоть до их полного локального отсутствия [3, 4]. В полярных водах ПЦБ представлены преимущественно видами рода *Synechococcus*, которые являются либо автохтонными [4], либо аллохтонными формами [4–6]. Основными источниками аллохтонных ПЦБ в Арктике являются речной сток [5], североатлантические [4] и тихоокеанские воды [6]. Изменение абиотических факторов в Арктике под влиянием климатического тренда [7] – возрастание температуры поверхностного слоя, увеличение речного стока [8] и объема входящих в Аркти-

ку более теплых и соленых североатлантических вод [9], усиление стратификации и др. – приводит к повышению роли пикоформ (ПЦБ и пикоэукариот) в потоках вещества в арктических экосистемах [10]. Высказано предположение о возможном возрастании доли ПЦБ в суммарном обилии пикофитопланктона в арктических водах вследствие потепления климата [11].

Сведения о количественных параметрах ПЦБ и их пространственном распределении в морях российской Арктики практически отсутствуют. Имеются данные только по эстуарию реки Лены и прилегающего района моря Лаптевых [12]. Море Лаптевых, Карское и Восточно-Сибирское моря характеризуются значительным речным стоком и поступлением североатлантических

вод [8, 13], что дает основание ожидать присутствие аллохтонных ПЦБ. Прогнозируемое воз-растание значимости ПЦБ в функционировании арктических экосистем и отсутствие данных по количественному развитию ПЦБ в российском секторе Арктики определило цель настоящего исследования: оценить численность и биомассу ПЦБ, их вклад в суммарные показатели обилия пикофитопланктона, а также выявить особенности пространственного распределения ПЦБ на шельфе Карского моря, моря Лаптевых и Восто-чно-Сибирского моря.

Материалы и методы

Материал был получен в ходе 69-го рей-са научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в период с 25 августа по 9 сентября 2017 г. Пробы были отобраны с поверх-ностного горизонта станций, расположенных на шельфе моря Лаптевых, Карского и Восто-чно-Сибирского морей (рис. 1). Всего отобрана и проанализирована 61 проба.

Подсчет численности фотосинтезирующих пикоформ (цианобактерий и эукариот) прово-дили с использованием люминесцентного ми-кроскопа Leica DM1000 (Leica Microsystems, Германия) по методике, изложенной ранее [16], а также проточного цитометра Accury C6 (BD Bioscience, США). Использование двух методов учета обусловлено тем, что цитометр Accury C6 дает заниженные оценки численности циано-бактерий [17]. Для расчета биомассы содержание углерода в клетках ПЦБ принимали равным 470 фг С на клетку [18], а в клетках пикоэукариот ($C_{кл}$) определяли по клеточным объемам ($W_{кл}$) с использованием зависимости $C_{кл}=0,433W_{кл}^{0.863}$ [18]. Объем клеток пикоэукариот рассчитывали, исходя из объема соответствующих стереометри-ческих фигур [19].

Для оценки сходства станций по абиотиче-ским факторам, включающим температуру воды, соленость и концентрацию растворенного крем-ния (общепринятый индикатор речного стока), проводили кластерный анализ с помощью про-

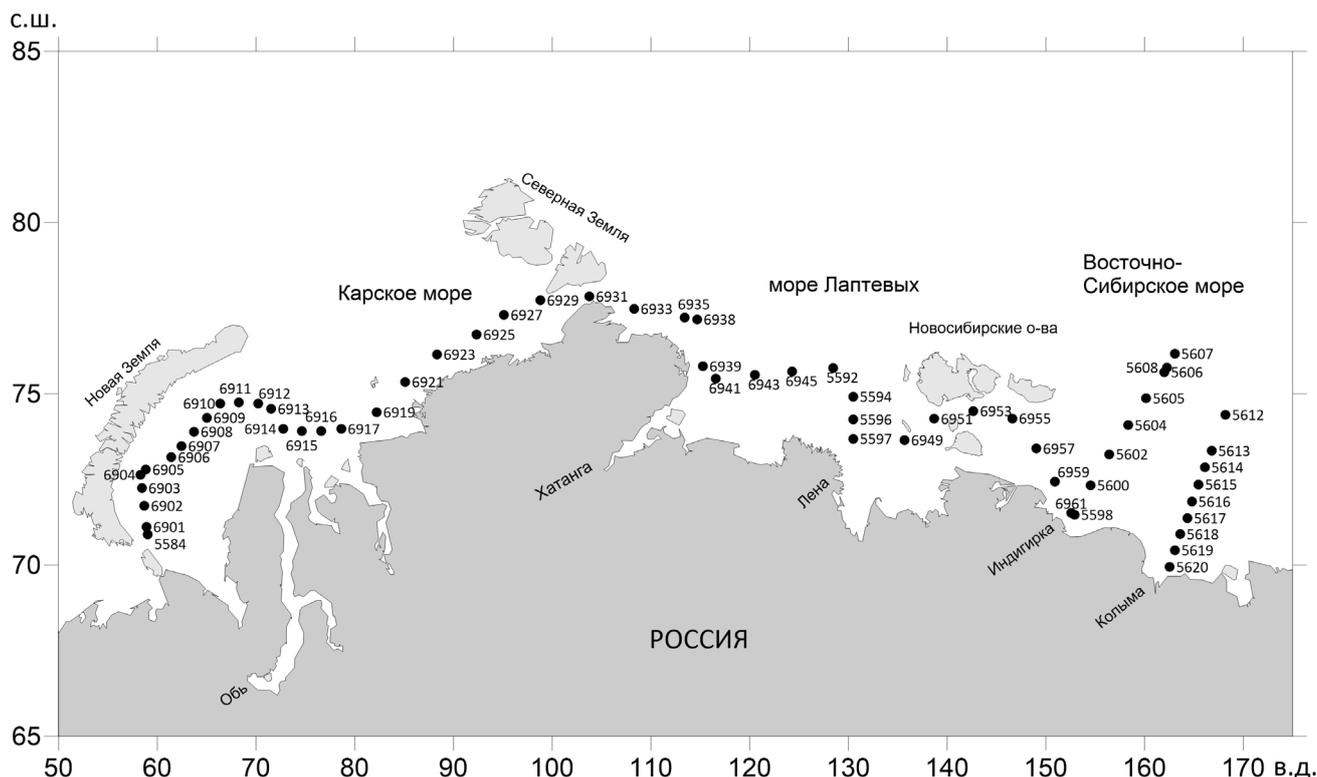


Рис. 1. Схема расположения станций

Температуру, давление и электропровод-ность поверхностного слоя воды определяли с помощью проточной CTD-системы, оснащенной зондом SeaBird SBE911 (Sea-Bird Scientific, США) [14]. По этим характеристикам производился расчет солености. Концентрацию раство-ренных форм кремния определяли колориметрически [15].

граммы PRIMER6 [20]. Для оценки зависимости между переменными рассчитывали коэффи-циент корреляции Спирмена, достоверность разли-чий средних значений оценивали по критерию Манна-Уитни. Расчеты проводили с использо-ванием программы PAST 3.20 (University of Oslo, Норвегия).

Таблица

Пределы изменения температуры (Т, °С), солёности (S, ‰), концентрации кремния (Si, мкмоль/л), численности ($N_{\text{ПЦБ}} \cdot 10^9$ клеток/м³) и биомассы ($B_{\text{ПЦБ}}$, мг С/м³) пикоцианобактерий, средние значения (\pm стандартное отклонение) численности и биомассы цианобактерий в отдельных районах Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря и в целом в каждом из морей

| Район | T | S | Si | $N_{\text{ПЦБ}}$ | $B_{\text{ПЦБ}}$ |
|--|----------|-----------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| Районы влияния речного стока ($P_{\text{ст}}$) | 3,1–6,8 | 13,4–20,4 | 15,1–52,0 | 0,02–1,58 0,39 \pm 0,48 | 0,01–0,74 0,18 \pm 0,23 |
| Морские станции ($M_{\text{ст}}$) | | | | | |
| M1. Западная часть Карского моря | 4,2–8,1 | 27,4–32,0 | 0,4–2,0 | 0,04–5,50 1,15 \pm 1,77 | 0,02–2,60 0,54 \pm 0,83 |
| M2. Пролив Вилькицкого, северная часть шельфа Восточно-Сибирского моря | -1,4–1,2 | 27,4 – 32 | 0,2–8,6 | 0–0,05 0,02 \pm 0,02 | 0–0,02 0,01 \pm 0,01 |
| M3. Центральные районы шельфа трех морей | 2,1–6,5 | 21,2–28,1 | 6,8–20,0 | 0–0,54 0,12 \pm 0,14 | 0–0,25 0,05 \pm 0,07 |
| Карское море | -1,1–8,1 | 17,9–32,0 | 0,2–52,0 | 0–5,50 0,48 \pm 1,2 | 0–2,59 0,23 \pm 0,57 |
| Море Лаптевых | 1,2–5,3 | 13,4–29,9 | 1,1–29,7 | 0–0,85 0,16 \pm 0,24 | 0–0,40 0,07 \pm 0,11 |
| Восточно-Сибирское море | -1,4–6,8 | 13,6–30,3 | 5,0–30,0 | 0–1,58 0,25 \pm 0,43 | 0–0,74 0,12 \pm 0,17 |

Результаты

Абиотические условия. Температура и солёность поверхностного слоя варьировали от -1,1 до 8,1°С и от 13 до 32‰ соответственно. Концентрация растворенного кремния изменялась от 0,24 до 52 мкмоль/л. Кластерный анализ сходства станций по этим абиотическим факторам выявил две группы станций (рис. 2). Одна группа включила станции с выраженным влиянием речного стока крупных сибирских рек Оби, Хатанги, Индигирки и Колымы (распределенные станции, $P_{\text{ст}}$). Поверхностный слой воды на этих станциях характеризовался повышенными значениями температуры и концентрации кремния и сниженной солёностью (таблица). Другая группа, включающая станции с менее выраженным распределением (морские станции, $M_{\text{ст}}$), в свою очередь может быть разделена на подгруппы M1, M2 и M3. Подгруппа M1 объединила станции юго-западной части Карского моря, куда из Баренцева моря поступают солёные и относительно теплые воды, представляющие собой трансформированные североатлантические воды. Подгруппа M2 включила станции в проливе Вилькицкого и северной части Восточно-Сибирского моря, где воды характеризовались низкой температурой и

повышенной солёностью. Станции в центральных районах шельфа всех трех морей вошли в подгруппу M3.

Численность и биомасса ПЦБ. Численность ($N_{\text{ПЦБ}}$) и биомасса ($B_{\text{ПЦБ}}$) ПЦБ существенно варьировали (таблица), средние значения этих параметров между морями достоверно не раз-

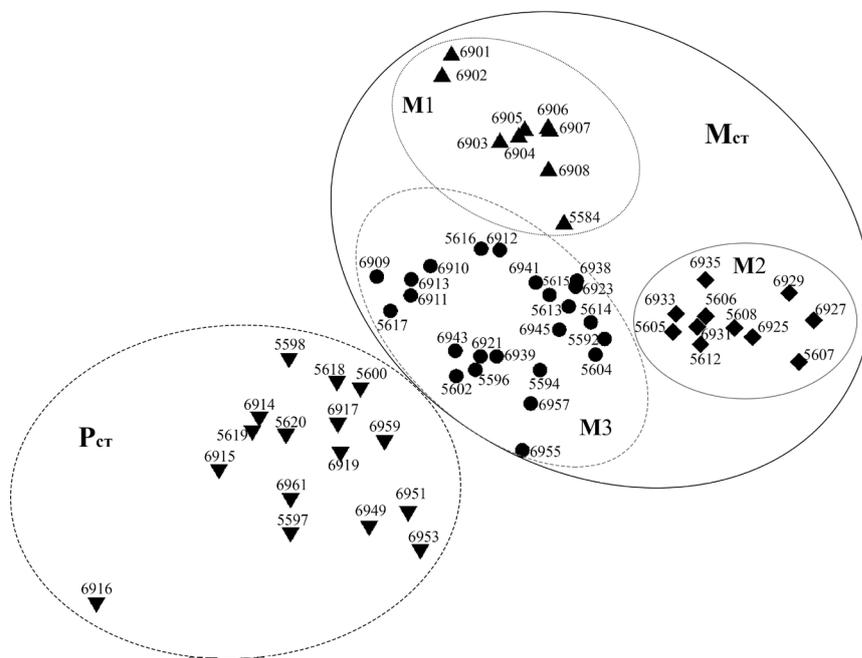


Рис. 2. Ординация станций по сходству абиотических факторов (цифры – номера станций)

личались. Наибольшие значения численности и биомассы ПЦБ выявлены в юго-западной части Карского моря (подгруппа M1) и в районах влияния речного стока (группа $P_{\text{ст}}$), однако средние

значения $N_{\text{ПЦБ}}$ и $V_{\text{ПЦБ}}$ в подгруппе М1 и группе $P_{\text{ст}}$ достоверно не различались. Средние значения $N_{\text{ПЦБ}}$ и $V_{\text{ПЦБ}}$ в подгруппе М1 и группе $P_{\text{ст}}$ были больше ($p < 0,01$), чем средние значения в холодных водах пролива Вилькицкого и северной части Восточно-Сибирского моря (подгруппа М2), а также в центральных районах шельфа (подгруппа станций М3).

Значения численности ПЦБ на акваториях с наибольшим распреснением достигали $0,5 \cdot 10^9$ клеток/м³ (сток Оби), $0,2 \cdot 10^9$ клеток/м³ (сток Хатанги), $0,4 \cdot 10^9$ клеток/м³ (сток Индигирки) и $1,6 \cdot 10^9$ клеток/м³ (сток Колымы). Широтные разрезы от эстуариев рек выявили существенное снижение численности ПЦБ в северном направлении (рис. 3А, Б). Аналогичная картина отмечена на широтном разрезе от пролива Карские ворота вдоль Новой Земли (рис. 3В).

По всему массиву полученных данных выявлена высоко достоверная ($p < 0,01$) положительная связь между численностью (и биомассой) ПЦБ и температурой воды ($p = 0,003$). Связь с соленостью воды оказалась достоверной только при уровне значимости 0,03.

Вклад ПЦБ в суммарную численность и суммарную биомассу пикоформ. Практически на всей исследованной акватории $N_{\text{ПЦБ}}$ и $V_{\text{ПЦБ}}$ были меньше таковых фотосинтезирующих пикоэукариот. Только на станциях 5584, 6901, 6902 и 6903 из подгруппы М1 в западной части Карского моря $N_{\text{ПЦБ}}$ и $V_{\text{ПЦБ}}$ были больше, чем численность и биомасса пикоэукариот, вклад ПЦБ в суммарную численность и биомассу пикоформ достигал 67–82%. Средний вклад ПЦБ в численность и биомассу пикоформ в подгруппе станций М1 составил 37% и 36% соответственно. В остальных подгруппах $M_{\text{ст}}$ и группе распресненных станций $P_{\text{ст}}$ средний вклад ПЦБ не превышал 7%.

Обсуждение результатов

Проведенные в августе–сентябре 2017 г. исследования пространственного распределения ПЦБ впервые охватили поверхностный слой шельфа сразу трех морей российской Арктики – Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Исследованная акватория характеризовалась выраженной пространственной неоднородностью водных масс, которая обусловлена такими процессами, как мощный речной сток, влиянием вод Баренцева моря, являющихся трансформированными североатлантическими водами, а также воздействием вод центрального арктического бассейна. Мезомасштабная неоднородность абиотических условий на шельфе арктических морей определила существенную изменчивость значений параметров обилия ПЦБ, на которую

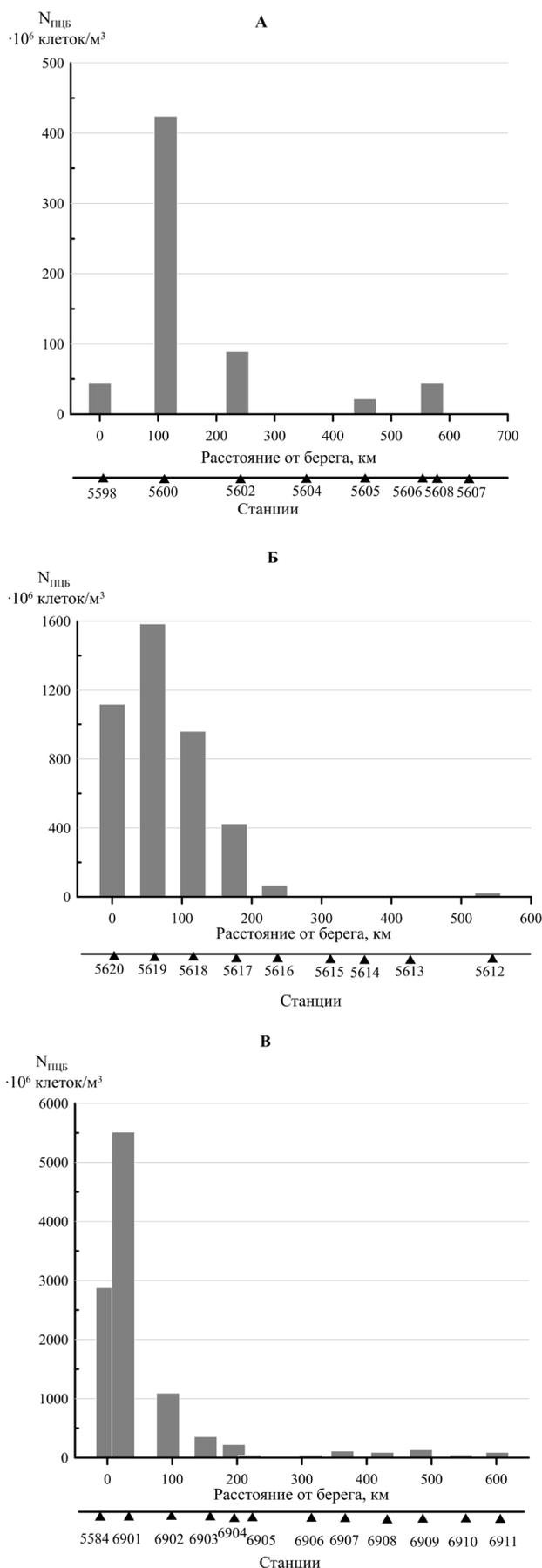


Рис. 3. Численность пикоцианобактерий ($N_{\text{ПЦБ}}$) на широтных разрезах от рек Колыма (А), Индигирка (Б) и вдоль Новой Земли (В).

накладывается временная изменчивость. В частности, объем речного стока в море Лаптевых, Карское и Восточно-Сибирское моря, а также направление распространения распресненных вод изменяются по сезону [8]. Сезонная изменчивость присуща и величине объема входящих в Арктику североатлантических вод [21]. Выявлена также межгодовая изменчивость объема речного стока и входящих атлантических вод [8, 9]. Временная изменчивость основных источников аллохтонных ПЦБ может вести к сезонной и межгодовой изменчивости численности и пространственного распределения ПЦБ на шельфе сибирских морей.

Пространственная вариабельность численности ПЦБ в основном определялась наличием источников аллохтонных ПЦБ, благодаря которым достигались наибольшие значения численности и биомассы ПЦБ. Основным источником аллохтонных ПЦБ на шельфе Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря является речной сток. По мере удаления от эстуариев рек как в широтном, так и в меридиональном направлениях численность ПЦБ существенно снижается, вследствие эффекта «разведения» и, вероятно, отмирания пресноводных форм. Аналогичная картина отмечалась и осенью в Канадской Арктике, где численность ПЦБ снижалась по градиенту: воды реки Маккензи – эстуарий – прибрежные воды моря Бофорта – открытые арктические воды [5]. Пределы варьирования численности ПЦБ в районах, подверженных влиянию речного стока ($P_{ст}$), оказались несколько меньше таковых ($0,39–2,3 \cdot 10^9$ клеток/ m^3) на шельфе моря Бофорта [5]. Однако, с учетом того, что в сентябре численность ПЦБ в губе Буор–Хая, находящейся под влиянием стока реки Лена, варьирует от 1 до $40 \cdot 10^9$ клеток/ m^3 [12], можно сделать вывод о соответствии пределов варьирования численности ПЦБ в российских шельфовых морях и на шельфе Канадской Арктики. Еще одним источником аллохтонных ПЦБ являются трансформированные североатлантические воды, в которых численность ПЦБ может достигать $21 \cdot 10^9$ клеток/ m^3 [4]. По мере продвижения атлантических вод в арктический регион численность ПЦБ существенно снижается. Воды, поступающие из Баренцева моря в юго-западную часть Карского моря, характеризовались более высоким обилием ПЦБ (наибольшая численность – $5,5 \cdot 10^9$ клеток/ m^3) по сравнению с центральными и северными районами шельфа морей Карского, Лаптевых и Вос-

точно-Сибирского.

Еще до недавнего времени считалось, что автохтонные морские ПЦБ в Арктике отсутствуют [3]. Однако метагеномные исследования выявили присутствие эндемичных морских *Synechococcus*, которые на некоторых станциях даже доминировали по числу последовательностей над аллохтонными формами [4]. Мы полагаем, что в холодных водах пролива Вилькицкого и в северной части шельфа Восточно-Сибирского моря ПЦБ представлены именно автохтонными формами, численность которых не превышает $0,05 \cdot 10^9$ клеток/ m^3 . Таких же величин достигала численность ПЦБ летом в северной части Чукотского моря и в море Бофорта, однако авторы соответствующих исследований не исключали возможности адвекции ПЦБ в эти арктические районы с тихоокеанскими водами [22].

Выявленный незначительный вклад ПЦБ в суммарные численность и биомассу фотосинтезирующих пикоформ на шельфе сибирских морей согласуется с данными по другим арктическим районам [4]. Полагают, что преобладание в пикофракции эукариот обусловлено их большей приспособленностью к суровым арктическим условиям и, в частности, к варьированию солености в широком диапазоне [23] и к низкой температуре воды [24].

Температура воды является одним из основных факторов, обуславливающих макромасштабное распределение ПЦБ и в частности *Synechococcus* [25]. Пространственное распределение ПЦБ на шельфе Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря также демонстрирует положительную связь между температурой воды и численностью ПЦБ. Это свидетельствует о возможном увеличении концентрации ПЦБ в шельфовых морях Российской Арктики и повышении их роли в функционировании арктических экосистем при наблюдаемом климатическом тренде.

Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова часть 2 (тема №АААА–А16–116021660052–0). При финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований выполнены экспедиционные исследования (проект № 18-05-60069 Арктика), а также обработка и анализ полученных результатов (проект № 19-05-00026а).

Исследования выполнены без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moon-van der Staay S.Y., Wachter R., Vaulot D. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity // *Nature*. 2001. Vol. 409. N 6820. P. 607–610.
2. Li W.K.W. Primary production of prochlorophytes, cyanobacteria, and eucaryotic ultraphytoplankton: measurements from flow cytometric sorting // *Limnol. Oceanogr.* 1994. Vol. 39. N 1. P. 169–175.
3. Pedrós-Alió C., Potvin M., Lovejoy C. Diversity of planktonic microorganisms in the Arctic Ocean // *Prog. Oceanogr.* 2015. Vol. 139. P. 233–243.
4. Paulsen M.L., Doré H., Garczarek L., Seuthe L., Müller O., Sandaa R-A., Bratbak G., Larsen A. *Synechococcus* in the Atlantic gateway to the Arctic Ocean // *Front. Mar. Sci.* 2016. Vol. 3:191.
5. Waleron M., Waleron K., Vincent W.F., Wilmotte A. Allochthonous inputs of riverine picocyanobacteria to coastal waters in the Arctic Ocean // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2007. Vol. 59. N 2. P. 356–365.
6. Cottrell M.T., Kirchman D.L. Photoheterotrophic microbes in the arctic ocean in summer and winter // *Appl. Environ. Microbiol.* 2009. Vol. 75. N 15. P. 4958–4966.
7. IPCC: Climate Change 2013: The physical science basis, contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 pp.
8. Gordeev V.V. River input of water, sediment, major ions, nutrients and trace metals from Russian territory to the arctic ocean // *The freshwater budget of the arctic ocean* / Eds. E.L Lewis. Kluwer: Amsterdam, 2000. P. 297–322.
9. Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B. *et al.* Greater role for Atlantic inflows on sea ice loss in the Eurasian basin of the Arctic Ocean // *Science*. 2017. Vol. 356. N 6335. P. 285–291.
10. Blais M., Ardyna M., Gosselin M., Dumont D., Belanger S., Tremblay J-E., Gratton Y., Marchese C., Poulin. M. Contrasting interannual changes in phytoplankton productivity and community structure in the coastal Canadian Arctic Ocean // *Limnol. Oceanogr.* 2017. Vol. 62. N 6. P. 2480–2497.
11. Vincent W.F. Microbial ecosystem responses to rapid climate change in the Arctic // *ISME*. 2010. N 4. P. 1087–1090.
12. Moreira-Turcq P.F., Cauwet G., Martin J.M. Contribution of flow cytometry to estimate picoplankton biomass in estuarine systems // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 462. N 1–3. P. 157–168.
13. Bauch D., Torres-Valdes S., Polyakov I., Novikhin A., Dmitrenko I., McKay J., Mix A. Halocline water modification and along-slope advection at the Laptev Sea continental margin // *Ocean Sci.* 2014. Vol. 10. N 1. P. 141–154.
14. Zavialov P.O., Izhitskiy A.S., Osadchiev A.A., Pelevin V.V., Grabovskiy A.B. The structure of thermohaline and bio-optical fields in the upper layer of the Kara Sea in September 2011 // *Oceanology*. 2015. Vol. 55. N 4. P. 461–471.
15. Hansen H.P., Koroleff F. Determination of nutrients // *Methods of seawater analysis* / Eds. K. Grashoff, K. Kremling, M. Ehrhardt. Weinheim, N.Y., Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto: Wiley-VCH, 1999. P. 149–228.
16. Belevich T.A., Ilyash L.V., Milyutina I.A., Logacheva M.D., Troitskiy A.V. Phototrophic picoeukaryotes of Onega bay, the White Sea: abundance and species composition // *Moscow Univ. Biol. Sci. Bull.* 2017. Vol. 72. N 3. P. 109–114.
17. Ribeiro C.G., Dominique M. D., dos Santos A.L., Brandini F. P., Vaulot. D. Estimating microbial populations by flow cytometry: comparison between instruments // *Limnol. Oceanogr–Meth.* 2016. Vol. 14. N. 11. P. 750–758.
18. Verity P.G., Robertson C.Y., Tronzo C.R., Andrews M.G., Nelson J.R., Sieracki M.E. Relationship between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton // *Limnol. Oceanogr.* 1992. Vol. 37. N 7. P. 1434–1446.
19. Menden-Deuer S., Lessard E.J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // *Limnol. Oceanogr.* 2000. Vol. 45. N 3. P. 569–579.
20. Clarke K.R., Gorley R.N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Plymouth: PRIMER–E, 2006. 192 pp.
21. Fahrbach E., Meincke J., Østerhus S., Rohardt G, Schauer U, Tverberg, V, Verduin J. Direct measurements of volume transports through Fram Strait // *Polar Res.* 2001. Vol. 20. N 2. P. 217–224.
22. Cottrell M., Kirchman D. Virus genes in Arctic marine bacteria identified by metagenomic analysis // *Aquat. Microb. Ecol.* 2012. Vol. 66. N 2. P. 107–116.
23. Waterbury J.B., Watson S.W., Valois F.W., Franks D.G. Biological and ecological characterization of the marine unicellular cyanobacterium *Synechococcus* // *Photosynthetic Picoplankton* / Eds T. Platt and W.K.W. Li. Ottawa: Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., 1986. P. 71–120.
24. Lovejoy C., Vincent W.F., Bonilla S., Roy S.,

Martineau M.-J., Terrado R., Potvin M., Massana R., Pedro's-Alio' C. Distribution, phylogeny, and growth of cold-adapted picoprasinophytes in Arctic seas // *J. Phycol.* 2007. Vol. 43. N 1. P. 78–89.

25. *Olson R.J., Zettler E.R., Armbrust E.V., Chisholm S.W.* Pigment, size and distribution of

Synechococcus in the North Atlantic and Pacific oceans // *Limnol. Oceanogr.* 1990. Vol. 35. N 1. P. 45–58.

Поступила в редакцию 05.04.2019 г.
После доработки 25.08.2019 г.
Принята в печать 02.09.2019 г.

RESEARCH ARTICLE

THE SPATIAL DISTRIBUTION OF PLANKTON PICOCYANOBACTERIA ON THE SHELF OF THE KARA, LAPTEV, AND EAST SIBERIAN SEAS

T.A. Belevich^{1,*}, L.V. Ilyash¹, A.L. Tchultsova², M.V. Flint³

¹*Department of Hydrobiology, School of Biology, Lomonosov Moscow State University, Leninskiye gory 1–12, Moscow, 119234, Russia;*

²*Northwestern Division, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Northern Dvina Embankment, 112, Arkhangelsk, 163061 Russia;*

³*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nahimovskiy pr., 36, Moscow, 117997, Russia*

*e-mail: belevich@mail.bio.msu.ru

The spatial distribution of picocyanobacteria on the arctic longitude transect passing through the shelf of the Kara, Laptev and East Siberian seas from 58° to 168° E was studied. In the Kara Sea the picocyanobacteria abundance averaged $0.48 \pm 1.2 \cdot 10^9$ cell/m³, in the Laptev Sea – $0.16 \pm 0.24 \cdot 10^9$ cell/m³, in the East Siberian Sea – $0.25 \pm 0.43 \cdot 10^9$ cell/m³. The abundance fluctuations of photoautotrophic prokaryotes were determined by the presence of allochthonous picocyanobacteria sources – river runoff and transformed North Atlantic waters. Highest abundances were observed in the areas of the runoff influence of the Siberian Rivers Ob, Khatanga, Indigirka and Kolyma and averaged $0.5 \cdot 10^9$ cell/m³ (river Ob), $0.2 \cdot 10^9$ cell/m³ (river Khatanga), $0.4 \cdot 10^9$ cell/m³ (river Indigirka) и $1.6 \cdot 10^9$ cell/m³ (river Kolyma). The average contribution of picocyanobacteria to the total abundance and biomass of picoforms in the western part of the Kara Sea was 37% and 36% respectively. In other areas, the average contribution of picocyanobacteria to the total abundance of phototrophic picoplankton did not exceed 7%, to the total biomass – 6%. A highly reliable ($p < 0.01$) positive correlation between the abundance and biomass of picocyanobacteria and the water temperature ($p = 0.003$) was revealed over the entire array of data obtained.

Keywords: *picophytoplankton, picocyanobacteria, Arctic region, Ob, Khatanga, Indigirka, Kolyma*

Сведения об авторах

Белевич Татьяна Алексеевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел: 8-495-939-27-91; e-mail: belevich@mail.bio.msu.ru

Ильяш Людмила Васильевна – докт. биол. наук, проф. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел: 8-495-939-2791; e-mail: ilyash@mail.bio.msu.ru

Чульцова Анна Леонидовна – науч. сотр. Северо-Западного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Тел: 8-8182-42-00-47; e-mail: an-2345@yandex.ru

Флинт Михаил Владимирович – академик РАН, докт. биол. наук, зав. лаборатории «Экологии планктона» института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Тел: 9-499-124-8515; e-mail: m_flint@ocean.ru