

УДК 593.16(597):574.583:581

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИЙ, ПИКОФИТОПЛАНКТОНА И ФЛАГЕЛЛЯТ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. МЕКОНГ

© 2022 г. Д. Б. Косолапов\*, \*\*, @, Н. Г. Косолапова\*, А. И. Цветков\*, Динь Нгуен Ку\*\*\*

\*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, 109,  
Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742 Россия

\*\*Череповецкий государственный университет, просп. Луначарского, 5, Череповец, Вологодская обл., 162600 Россия

\*\*\*Южное отделение Российско-Вьетнамского тропического центра, № 3, улица 3/2, округ 11, Хошимин, Вьетнам  
@E-mail: dkos@ibiw.ru

Поступила в редакцию 21.08.2020 г.

После доработки 21.09.2020 г.

Принята к публикации 21.09.2020 г.

В устьевой зоне р. Меконг (Вьетнам) впервые определены численность и биомасса основных компонентов планктонной микробной трофической сети: бактерий, пикофитопланктона, гетеротрофных и фототрофных флагеллят, изучены особенности их пространственного распределения, а также видовое разнообразие гетеротрофных флагеллят. В этой продуктивной загрязненной тропической речной экосистеме гетеротрофные бактерии имели крупные размеры, и их биомасса достигала высоких значений, характерных для гипертрофных вод. Они вносили основной вклад (в среднем, 73.8%) в формирование общей биомассы планктонного микробного сообщества. Вклад пикофитопланктона, гетеротрофных и фототрофных флагеллят составил 20.5, 3.9 и 1.9% соответственно. Идентифицировано 29 видов и форм гетеротрофных флагеллят, относящихся к восьми крупным таксонам и группе неопределенного систематического положения.

**Ключевые слова:** бактерии, пикофитопланктон, флагелляты, микробная “петля”, дельта Меконга

**DOI:** 10.31857/S102634702203009X

Бактерии и другие микроорганизмы – самые многочисленные и разнообразные компоненты водных экосистем (Gasol *et al.*, 1997). Они формируют микробные трофические сети (микробную “петлю”), в которых бактерии усваивают растворенные органические вещества, а простейшие выполняют функцию связующего звена между бактериями и мельчайшими водорослями и зоопланктоном, т.е. между микробной петлей и пастбищной пищевой цепью (Sanders, Wickham, 1993; Romero *et al.*, 2007). Микроорганизмы играют важные роли в биогеохимических круговоротах углерода и других элементов, формировании качества воды и донных отложений, образовании и потреблении парниковых газов (Falkowski *et al.*, 2008).

Одна из центральных проблем экологии состоит в понимании закономерностей распределения организмов в водных экосистемах. В этой связи особый интерес вызывают устьевые участки рек, где в результате смешивания пресных речных и соленых морских вод возникают вертикальные и горизонтальные градиенты солености и других физико-химических параметров, которые определяют характер пространственно-временной изменчивости гидробионтов. Эстуарии и

дельты характеризуются высоким содержанием биогенных элементов, взвешенных и растворенных органических веществ, и вследствие этого, высокой продуктивностью (Telesh, Khlebovich, 2010; Cloern *et al.*, 2017).

Меконг – крупнейшая река юго-восточной Азии, которая имеет длину 4800 км и протекает по территории шести государств. Площадь водосбора Меконга составляет 795000 км<sup>2</sup>, а его устьевой области – 65170 км<sup>2</sup>. Последняя принадлежит к дельтово-эстуарному типу и расположена в южной части Вьетнама в зоне тропического климата (Михайлов, Аракельянц, 2010). Меконг испытывает мощное хроническое загрязнение и интенсивно используется в качестве источника питьевого водоснабжения и орошения, приемника промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод и для судоходства.

В нижнем течении р. Меконг проводили большое количество микробиологических исследований, которые были посвящены в основном изучению либо патогенных микроорганизмов (Ozaki *et al.*, 2014; Wilbers *et al.*, 2014), либо специфических групп бактерий, осуществляющих биодegradацию и трансформацию загрязняющих веществ (Asta

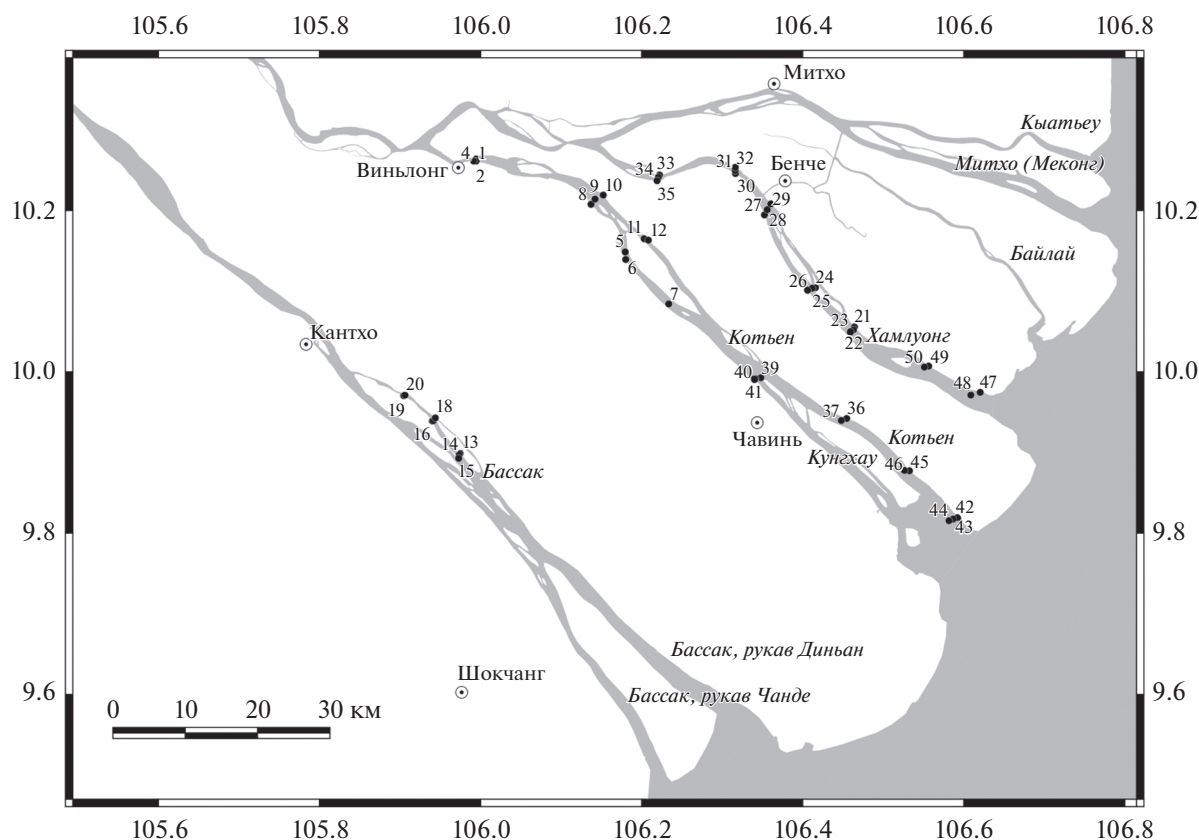


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в устьевой области р. Меконг 5–18 декабря 2018 г.

*et al.*, 2019; Le *et al.*, 2017). Определение количества и активности бактериопланктона и других компонентов микробной трофической сети в дельте Меконга до сих пор не исследовали. Опубликованы данные по динамике бактериопланктона в прудах по разведению креветок и рыбы, расположенных в этом регионе (Alongi *et al.*, 1999; Wada *et al.*, 2016). Вместе с тем результаты, полученные при изучении устьевых участков других рек, показывают, что микроорганизмы играют важную роль в трофодинамике этих динамичных экосистем (Findlay *et al.*, 1992; Crump *et al.*, 2004).

Цель работы – определение численности и биомассы основных компонентов планктонной микробной трофической сети: бактерий, пикофитопланктона и флагеллят, выявление особенностей их пространственного распределения и изучение видового разнообразия гетеротрофных флагеллят в устьевой области р. Меконг.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили 5–18 декабря 2018 г. на трех рукавах нижнего течения р. Меконг: Хамлуонг, Котьен и Бассак (только пресноводная часть). В этих рукавах визуально выделяли характерные участки, на которых осуществляли отбор

проб воды по поперечному профилю: в медиали и рипали правого и/или левого берега. Пробы воды были получены на 50 станциях, большинство из которых находилось в пресноводной зоне (рис. 1). Воду из поверхностного слоя отбирали с помощью батометра Ван-Дорна, и сразу же помещали в стерильные пластиковые флаконы объемом 60 мл. Водные пробы фиксировали 40%-ным формальдегидом до конечной концентрации 2%, хранили в темноте при температуре 4°C и обрабатывали в лаборатории в течение 2 мес. Все используемые для учета микроорганизмов растворы реактивов предварительно фильтровали через фильтры с диаметром пор 0.2 мкм.

Численность и размеры бактерий, пикофитопланктона, гетеротрофных и фототрофных флагеллят определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии с использованием микроскопа Olympus BX51 (Япония) с системой анализа изображений при увеличении 1000 раз (Porter, Feig, 1980; Caron, 1983; MacIsaac, Stockner, 1993). Объемы микробных клеток рассчитывали по формулам объемов цилиндра, шара или эллипсоида. Сырую биомассу вычисляли путем умножения их численности на средний объем клеток. Содержание углерода в бактериальных клетках (C, фг C/кл) рассчитыва-

ли с использованием следующего аллометрического уравнения:

$C = 120 \times V^{0.72}$  (Norland, 1993). Для перевода биомассы пикофитопланктона в единицы углерода использовали коэффициент, равный 200 (Weisse, 1993), флагеллят – 220 фг С/мкм<sup>3</sup> (Borsheim, Bratbak, 1987).

Гетеротрофных жгутиконосцев идентифицировали до вида или рода в нефиксированных пробах воды с помощью фазово-контрастной микроскопии и компьютерной системы анализа изображений. Обнаруженных жгутиконосцев диагностировали по морфологическим признакам и особенностям их поведения (Жуков, 1993; Vørs, 1992). Выделение трофических групп жгутиконосцев и дифференцирование их видов по типу питания проводили, как это описано ранее (Sanders, 1991).

Измерения температуры, электропроводности и солености воды, концентрации растворенного кислорода проводили с использованием многопараметрического зонда YSI ProPlus через 1 м по всему столбу воды. В поверхностном слое воды определяли мутность с помощью портативного турбидиметра Nach 2000P и рН – с использованием портативного зонда Hanna HI 98121. Скорость течения на поверхности измеряли с помощью микрокомпьютерного скоростемера-расходомера МКРС.

При установлении зависимостей между количественными характеристиками микроорганизмов и параметрами окружающей среды применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена для уровня значимости 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Физико-химическая характеристика.** Температура воды в устьевой области р. Меконг в декабре 2018 г. колебалась в узком диапазоне: от 28.0 до 30.0°C. Значения рН воды находились в пределах 6.32–7.90 (в среднем, 6.92 ± 0.45). Электропроводность воды изменялась от 147 на пресноводных участках рукавов до 12 622 мкСм/см по мере приближения к морю, что соответствовало солености от 0.06 до 14.77 PSU, причем расслоение водной толщи в рук. Котьен было более выражено, чем в рук. Хамлуонг. Концентрация растворенного кислорода изменялась в пределах 4.03–7.61 мг/л, что соответствовало 52.7–99.3% насыщения, и мало различалась в поверхностном и придонном слоях воды: в среднем 5.67 ± 0.87 и 5.40 ± 0.79 мг/л соответственно. Скорость течения на разных участках колебалась от 0.1 до 1.2 м/с. Вода содержала большое количество взвешенных органических и минеральных частиц, и ее мутность составляла 20.5–121.0 (в среднем, 49.4 ± 24.2) NTU.

**Бактериопланктон.** Общее количество гетеротрофного бактериопланктона в дельте Меконга из-

менялось в пределах  $(6.20–10.76) \times 10^6$  кл/мл и составило в среднем  $(7.88 \pm 1.11) \times 10^6$  кл/мл (рис. 2а). Наибольшие значения этого показателя, превышающие 10<sup>7</sup> кл/мл, зарегистрированы как в пресноводной, так и в солоноватоводной зонах. Минимальная численность бактериопланктона обнаружена в медиали пресноводного участка рук. Котьен.

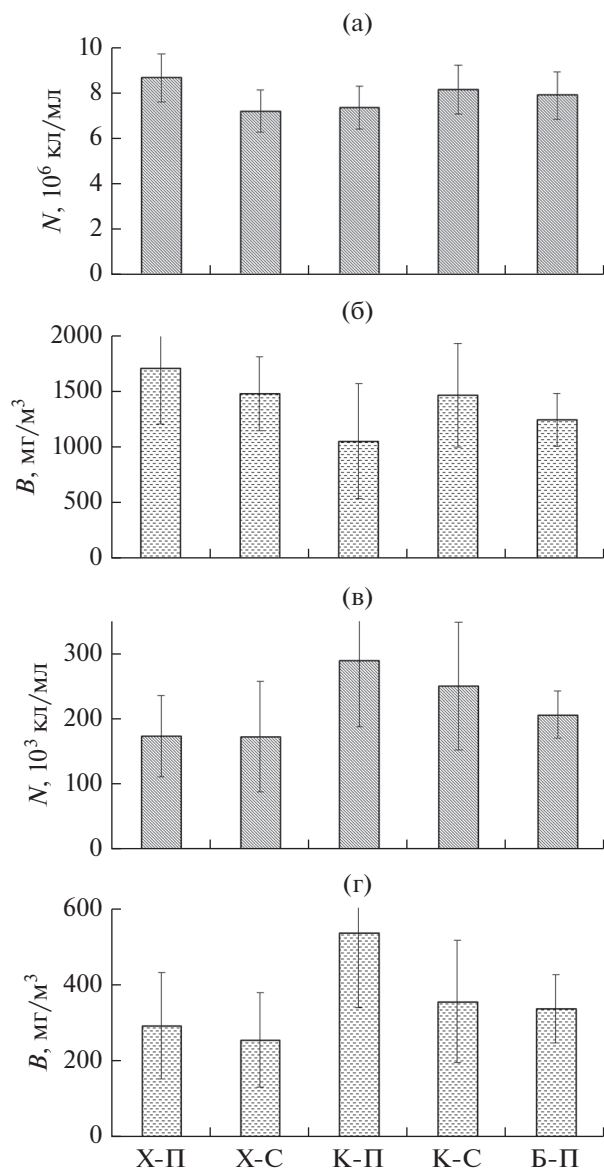
Средние для пробы объемы бактериальных клеток варьировали в пределах 0.078–0.304 (в среднем, 0.177 ± 0.053) мкм<sup>3</sup>. Максимальное и минимальное значения этого показателя были обнаружены в пресноводной части рукавов Хамлуонг и Котьен соответственно.

Максимальная (2983 мг/м<sup>3</sup>) и минимальная (496 мг/м<sup>3</sup>) биомасса бактериопланктона была зарегистрирована на тех же пресноводных участках дельты, где максимальными и минимальными были объемы бактериальных клеток (рис. 2б). Средняя биомасса оказалась равной 1404 ± 486 мг/м<sup>3</sup>. Численность бактерий была менее вариabельным показателем (коэффициент вариации ( $C_V$ ) составил 14.1%), чем объем их клеток ( $C_V = 30.0\%$ ) и биомасса ( $C_V = 34.6\%$ ).

В среднем численность, объем клеток и биомасса гетеротрофного бактериопланктона на пресноводных и солоноватоводных участках рукавов Меконга отличались незначительно:  $7.98 \times 10^6$  и  $7.73 \times 10^6$  кл/мл, 0.167 и 0.192 мкм<sup>3</sup>, 1360 и 1476 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Численность и биомасса бактериопланктона были выше в пресноводной части рук. Хамлуонг, чем в его солоноватоводной части: в среднем,  $(8.63 \pm 1.06) \times 10^6$  кл/мл и  $1713 \pm 502$  мг/м<sup>3</sup>,  $(7.18 \pm 0.93) \times 10^6$  кл/мл и  $1484 \pm 332$  мг/м<sup>3</sup> соответственно. Эти показатели в пресноводной зоне рук. Котьен, наоборот, в среднем, были ниже по сравнению с солоноватоводной:  $(7.93 \pm 0.93) \times 10^6$  кл/мл и  $1057 \pm 519$  мг/м<sup>3</sup>,  $(8.13 \pm 1.08) \times 10^6$  кл/мл и  $1470 \pm 465$  мг/м<sup>3</sup> соответственно.

В бактериопланктоне дельты Меконга выделяли три размерные группы: мелкоразмерные (объем клеток ( $V < 100$  мкм<sup>3</sup>), среднеразмерные ( $V = 100–500$  мкм<sup>3</sup>) и крупноразмерные ( $V > 500$  мкм<sup>3</sup>). Бактерии с объемом клеток менее 100 мкм<sup>3</sup> составляли в среднем 58.9% общей численности бактериопланктона и 21.3% его общей биомассы (рис. 3а). Большую часть общей биомассы (54.1%) занимали клетки средних размеров. Они же составляли 31.5% общей численности. Вклад крупных палочек и нитей ( $V > 500$  мкм<sup>3</sup>) в формирование общей численности и биомассы бактериопланктона оказался равным 9.6 и 24.6% соответственно.

**Пикофитопланктон.** При проведении исследования мы отнесли к пикофитопланктону фотосинтезирующих организмов с линейными размерами менее 3 мкм, поскольку как было установлено ранее,



**Рис. 2.** Общая численность (а) и биомасса (б) гетеротрофного бактериопланктона и общая численность (в) и биомасса (г) пикофитопланктона на разных участках рукавов Меконга: пресноводном (Х-П) и солоноватоводном (Х-С) участках рук. Хамлуонг, пресноводном (К-П) и солоноватоводном (К-С) участках рук. Котъен и пресноводном участке (Б-П) рук. Бассак.

клада, объединяющая пикоцианобактерий (*Synechococcus/Prochlorococcus/Cyanobium*), образована кокковидными и палочковидными клетками диаметром до 3 мкм (Callieri, 2010). Количество пикофитопланктона в дельте Меконга изменялось в пределах  $(88-530) \times 10^3$  (в среднем,  $(222 \pm 92) \times 10^3$ ) кл/мл и было на 1–2 порядка ниже количества гетеротрофного бактериопланктона (рис. 2в). Биомасса пикофитопланктона находилась в пределах 137–870 (в среднем,  $361 \pm 175$ ) мг/м<sup>3</sup> (рис. 2г). Максимальные значения этих параметров заре-

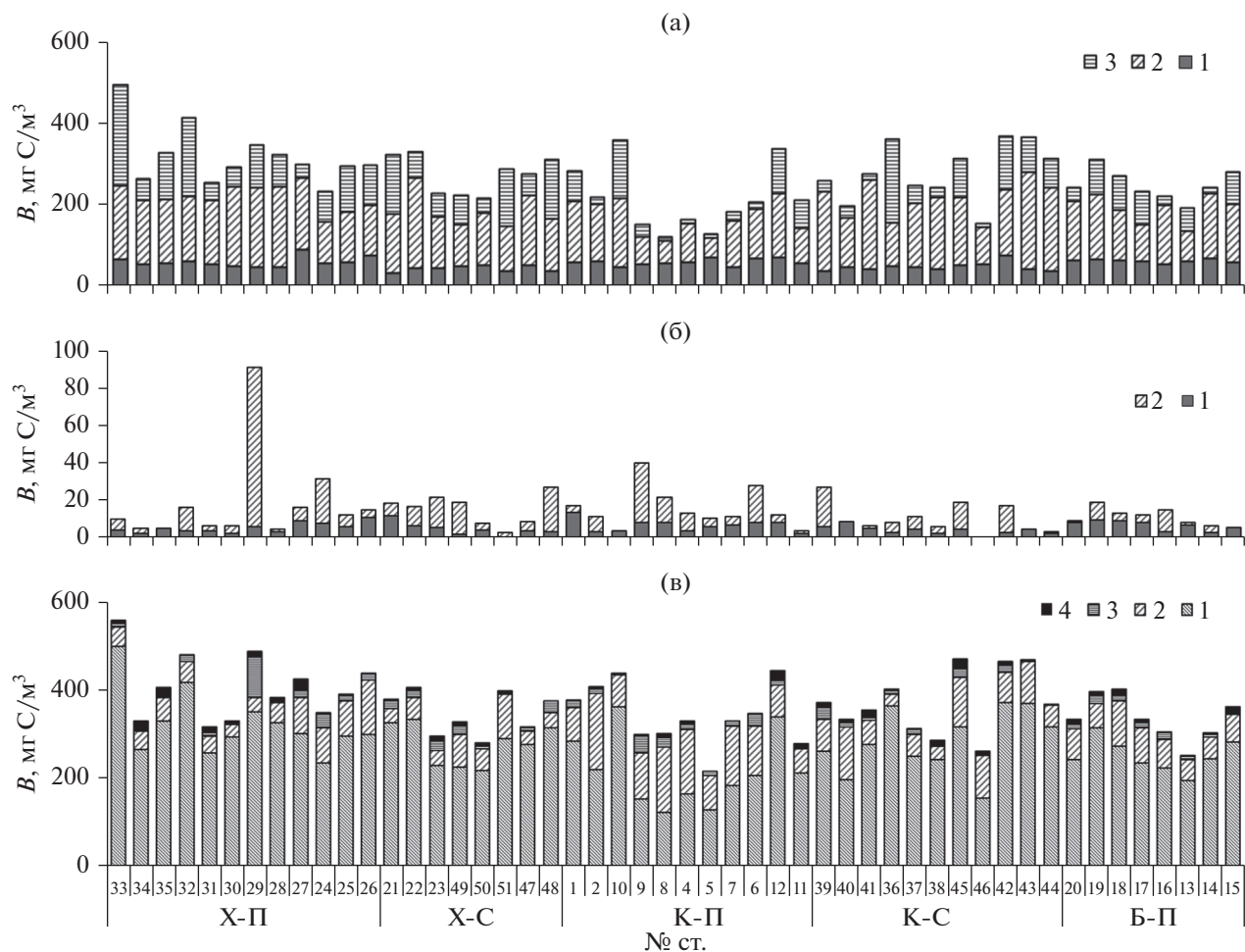
гистрированы в рипали пресноводной части рук. Котъен: численности – на ст. 8, биомассы – на ст. 2. Минимальная численность и биомасса пикофитопланктона отмечались в солоноватых водах рукавов Хамлуонг и Котъен соответственно. Эти параметры варьировали в более широких пределах ( $C_V = 41.3$  и  $48.7\%$  соответственно) по сравнению с таковыми гетеротрофного бактериопланктона.

На разных участках пикофитопланктон составлял от 6.0 до 60.1% (в среднем  $21.9 \pm 12.6\%$ ) суммарной биомассы пикофитопланктона и гетеротрофного бактериопланктона. Только на двух станциях, расположенных в пресноводной части рук. Котъен (ст. 4 и 8), где были максимальными размеры и численность пикофитопланктона, он занимал более половины суммарной биомассы. На всех остальных участках биомасса бактерий превышала биомассу пикофитопланктона.

Средняя численность пикофитопланктона в пресно- и солоноватоводной частях дельты оказалась примерно одинаковой:  $223 \times 10^3$  и  $218 \times 10^3$  кл/мл соответственно, а средний объем его клеток и биомасса в пресноводной зоне были в 1.2–1.3 раза выше, чем в солоноватоводной: 1.73 и 1.43 мкм<sup>3</sup>, 390 и 313 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Численность и биомасса пикофитопланктона в рук. Котъен (в среднем,  $(270 \pm 100) \times 10^3$  кл/мл и  $445 \pm 198$  мг/м<sup>3</sup> соответственно) были выше таковых в рукавах Бассак (в среднем,  $(207 \pm 36) \times 10^3$  кл/мл и  $336 \pm 90$  мг/м<sup>3</sup> соответственно) и Хамлуонг (в среднем,  $(174 \pm 70) \times 10^3$  кл/мл и  $277 \pm 131$  мг/м<sup>3</sup> соответственно).

**Гетеротрофные флагелляты.** В дельте Меконга было идентифицировано 29 видов и форм гетеротрофных жгутиконосцев, относящихся к восьми крупным таксонам и группе неопределенного систематического положения (табл. 1). Наибольшим видовым разнообразием отличался отр. Хризифитовые (9 видов). Остальные таксоны содержали в своем составе не более 4 видов. Все обнаруженные виды являются типичными обитателями морских и пресных вод.

В среднем в одной пробе отмечалось 3.1 вида, что свидетельствует о низком уровне альфа-разнообразия сообщества. Максимальное число видов (8) было зарегистрировано в солоноватоводной рипали рук. Котъен (ст. 41, 0.18 PSU). Наиболее часто (более чем в 30% проб) встречались *Cafeteria roenbergensis* и *Spumella* sp. 1. Однако основу разнообразия составляли редкие виды, частота встречаемости которых не превышала 20%. Они составляли 85.5% всех идентифицированных видов. Некоторые организмы были обнаружены только в одной пробе – это *Actinomonas mirabilis*, *Bodomorpha minima*, *Bicosoeca campanulata*, *Bodo curvifilis*, *Cercomonas* sp., *Monosiga marina*, *Massisteria marina*, *Salpingoeca pixidium* и *Protaspis simplex*.



**Рис. 3.** а – Вклад бактерий с объемами клеток  $<100$  (1),  $100\text{--}500$  (2) и  $>500$  (3)  $\mu\text{м}^3$  в формирование общей биомассы бактериопланктона; б – вклад мелких ( $2\text{--}5$   $\mu\text{м}$ ) (1) и крупных ( $>5$   $\mu\text{м}$ ) (2) организмов в формирование общей биомассы гетеротрофных нанофлагеллят; в – суммарная биомасса планктонного микробного сообщества и вклад в ее формирование гетеротрофных бактерий (1), пикофитопланктона (2), гетеротрофных (3) и фототрофных (4) нанофлагеллят.

Наибольшее число таких видов (3) отмечено на солоноватоводном участке рук. Котьян.

Большинство идентифицированных в дельте Меконга жгутиконосцев по типу питания относились к бактерио-детритофагам. Были обнаружены также один вид-эврифаг (*Paraphysomonas imperforata*) и один хищный вид (*Colpodella angusta*).

Численность, средний объем клеток и биомасса гетеротрофных нанофлагеллят изменялись в широких пределах: от 214 до 3631 (в среднем,  $1390 \pm 681$ ) кл./мл (рис. 4а), от 13.2 до 242.0 (в среднем,  $46.5 \pm 36.0$ )  $\mu\text{м}^3$  и от 5.1 до 413.6 (в среднем,  $64.8 \pm 62.3$ )  $\text{мг}/\text{м}^3$  (рис. 4б) соответственно. Максимальное значение численности нанофлагеллят зарегистрировано в медиали пресноводного участка рук. Котьян, биомассы – в рипали пресноводного участка рук. Хамлуонг. На последнем участке биомасса жгутиконосцев существенно превышала значения этого параметра на других участках,

поскольку здесь был обнаружен крупный пресноводный вид *Peranema* sp., размеры которого составляли  $38 \times 11$   $\mu\text{м}$ . На других участках реки линейные размеры гетеротрофных нанофлагеллят не превышали 9  $\mu\text{м}$ . Минимальные значения их численности и биомассы зарегистрированы в солоноватых водах рук. Котьян.

Учитывали два размерных класса гетеротрофных нанофлагеллят: мелких ( $2\text{--}5$   $\mu\text{м}$ ) и крупных ( $>5$   $\mu\text{м}$ ). Численность мелких флагеллят значительно превышала таковую крупных флагеллят: первые составляли, в среднем,  $(81 \pm 13\%)$  их общей численности. Вклад мелких и крупных организмов в формирование общей биомассы был примерно одинаковым: в среднем 52.2 и 47.8% соответственно (рис. 3б).

**Фототрофные флагелляты.** Фототрофные флагелляты встречались не на всех участках рукавов Меконга: они не были зарегистрированы на 8 пресноводных и 4 солоноватоводных станциях.

Таблица 1. Таксоны и виды гетеротрофных жгутиконосцев

Таксон	Вид или форма
Chrysophyceae (Pascher, 1914)	<i>Paraphysomonas imperforata</i> (Lucas, 1967) <i>Siphomonas fritschii</i> (Pringheim, 1946) <i>Spumella cylindrica</i> (Skuja, 1956) <i>S. minuta</i> <i>S. major</i> (Skuja, 1956) <i>S. vivipara</i> (Ehrenb.) (Pascher, 1912) <i>Spumella</i> sp. 1 <i>Spumella</i> sp. 2 <i>Stokesiella longipes</i> (Stokes, 1888) (Lemmermann, 1910)
Kinetoplastea (Honigberg, 1963)	<i>Bodo curvifilis</i> (Griessmann, 1913) <i>B. designis</i> (Skuja, 1948) <i>B. saltans</i> (Ehrenberg, 1832) <i>Bodo</i> sp.
Cercomonadida (Poche, 1913), (emend. Vickerman, 1983), (emend. Mylnikov, 1986)	<i>Bodomorpha globosa</i> (Stein, 1878) <i>B. minima</i> (Hollande, 1942) (Mylnikov and Karpov, 2004) <i>Protaspis simplex</i> (Vørs, 1992) <i>Cercomonas</i> sp.
Choanomonada (Kent, 1880)	<i>Monosiga marina</i> (Paasche, 1961) <i>Salpingoeca minor</i> (Dangeard, 1910) <i>S. pixidium</i> (Kent, 1880)
Bicosoecida (Grassé, 1926), (emend. Karpov, 1998)	<i>Bicosoeca campanulata</i> (Lackey, 1942) (Bourrelly, 1953) <i>B. conica</i> (Lemmermann, 1914) <i>Cafeteria roenbergensis</i> (Fenchel and Patterson, 1988)
Euglenida (Bütschli, 1884), emend. Simpson, 1997	<i>Peranema</i> sp.
Dictyochophyceae (Silva, 1980)	<i>Actinomonas mirabilis</i> (Kent, 1880)
Colpodellida (Cavalier-Smith, 1993) (emend. Adl et al., 2005)	<i>Colpodella angusta</i> (Dujardin, 1841) (Simpson and Patterson, 1996)
Incertae sedis EUKARYOTA	<i>Ancyromonas sigmoides</i> (Kent, 1880) <i>Amastigomonas debruynei</i> (De Saedeleer, 1931) <i>Massisteria marina</i> (Larsen and Patterson, 1990)

Там, где они были обнаружены, их численность изменялась от 107 до 534 кл/мл, биомасса — от 5 до 115 мг/м<sup>3</sup> (рис. 4в и 4г). Максимальная численность фитофлагеллят зарегистрирована в рипали солоноватоводного участка рук. Котьен, биомасса — в рипали пресноводного участка рук. Хамлуонг. Линейные размеры фототрофных флагеллят находились в пределах 3–30 мкм, объем их клеток в среднем оказался в 3.2 раза больше такового гетеротрофных флагеллят. Однако биомасса фитофлагеллят на большинстве участках рукавов была ниже биомассы гетеротрофных флагеллят и составляла, в среднем, 31.5% суммарной биомассы фототрофных и гетеротрофных флагеллят.

Суммарная биомасса планктонного микробного сообщества (гетеротрофных бактерий, пикофитопланктона, гетеротрофных и фототрофных флагеллят) в дельте Меконга изменялась в пределах 954–3267 (в среднем, 1860 ± 444) мг/м<sup>3</sup>

или 215–558 (в среднем, 364 ± 69) мг С/м<sup>3</sup> (рис. 3в). Большую ее часть занимали бактерии: на разных участках рукавов от 40.1 до 90.5%, а, в среднем, 73.8 ± 11.4%. Вклад пикофитопланктона, гетеротрофных и фототрофных флагеллят составил, в среднем, 20.5 ± 10.6, 3.9 ± 3.3 и 1.9 ± 1.7% соответственно.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Количество бактериопланктона в дельте Меконга в начале сухого сезона достигало значений, характерных для эвтрофных, а его биомасса — для гипертрофных вод (Копылов, Косолапов, 2007). Большие размеры бактерий и значительная доля в сообществе очень крупных бактерий, обусловлены, по-видимому, мощным хроническим загрязнением и эвтрофированием этой тропической реки. Размеры гетеротрофных бактерий существенно зависят

от концентрации и состава органических веществ в окружающей среде, и обычно их клетки достигают крупных размеров в богатых субстратами и биогенными элементами водах.

Соленость воды – один из ведущих абиотических факторов, влияющих на развитие гидробионтов, и распределение последних в устьевых участках рек в значительной степени определяется градиентом солености (Cloern *et al.*, 2017). Ранее при изучении эстуариев было показано, что количество, структура и динамика бактериопланктона отличаются в их пресноводной и солоноватоводной частях (Selje, Simon, 2003; Crump *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2017). Обычно численность бактериопланктона выше на пресноводных участках эстуариев, что обусловлено тем, что загрязненные речные воды по мере приближения к устью разбавляются более чистой морской водой.

В начале сухого сезона, когда проводились наши исследования, и морские воды поднимались примерно на 25 км от устья Меконга, показатели количественного развития гетеротрофного бактериопланктона и пикофитопланктона на пресноводных и солоноватоводных участках рукавов отличались незначительно. Вероятно, такой равномерный характер распределения микроорганизмов, связан с постоянным перемешиванием воды и донных отложений из-за быстрого течения и влияния приливов и отливов, постоянной температурой, высокой мутностью и повсеместным мощным загрязнением. Ранее при изучении бактериопланктона крупнейшего в США эстуария – Чесапикского залива было показано, что сезонные флуктуации и пространственное распределение бактериальных популяций во многом отражали колебания таких факторов окружающей среды, как соленость и температура воды. Несмотря на резкие градиенты этих и других факторов, в каждый из сезонов года бактериальное сообщество залива было гомогенным, тогда как сезонные различия были существенными (Kap *et al.*, 2007). В мелководном заливе Ионического моря (Греция), испытывающего антропогенное влияние, сезонные изменения состава бактериопланктона проявлялись более резко, чем пространственные, и распределение бактерий в разные сезоны было однородным (Meziti *et al.*, 2015).

В соответствии с концепцией относительности и множественности зон барьерных соленостей (Аладин, Плотников, 2013) в рукавах дельты Меконга можно выделить две основные зоны: пресноводную (<2‰) и солоноватоводную (5–8‰) и две переходные: пресноводную-солоноватоводную (2–5‰) и солоноватоводную-морскую (>8‰). Причем основная солоноватоводная зона соответствует зоне критической солености, которая представляет собой экологический и эволюционный барьер, при переходе через который ме-

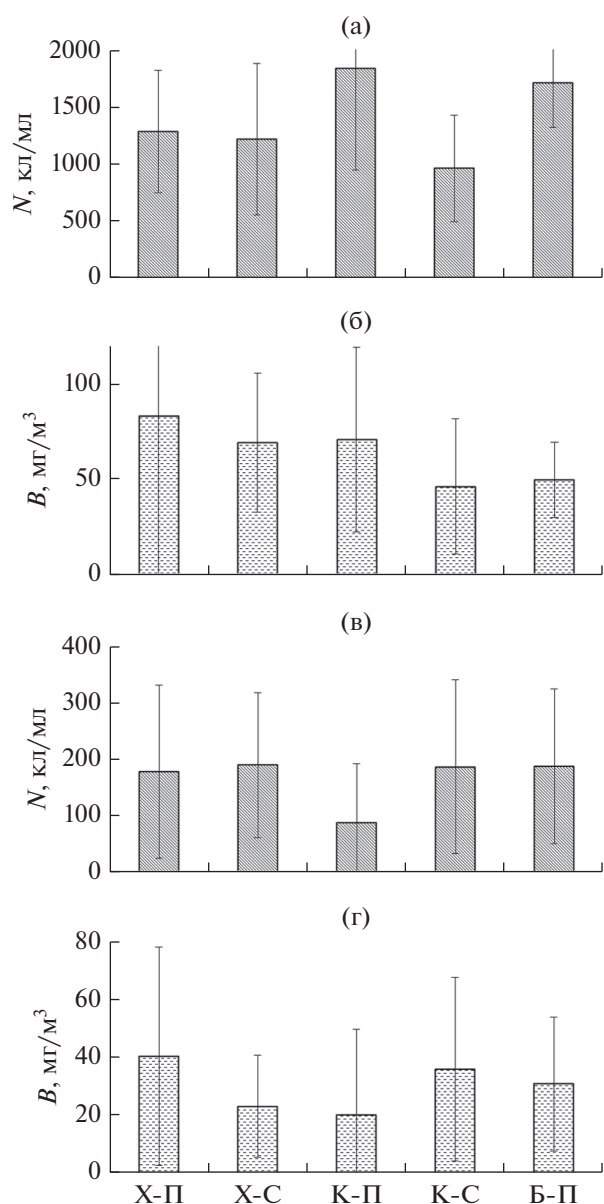


Рис. 4. Общая численность (а) и биомасса (б) гетеротрофных флагеллят, и общая численность (в) и биомасса (г) фототрофных флагеллят. Обозначения участков реки, как на рис. 2.

няется ряд важных свойств на разных уровнях биологической организации и где происходят нелинейные изменения скоростей и направлений абиотических и биотических процессов. Здесь же проходит граница распространения пресноводной и морской фауны (Telesh, Khlebovich, 2010).

В устье Меконга численность и биомасса гетеротрофных микроорганизмов были минимальными в основной солоноватоводной зоне (критической солености), а фототрофных – в переходной солоноватоводной-морской (табл. 2). Максимальное количественное развитие пикофитопланктона и

**Таблица 2.** Численность (N) и биомасса (B) различных групп микроорганизмов и общая биомасса микробного сообщества ( $B_{\Sigma}$ ) в разных соленостных зонах дельты р. Меконг

Зона	Соленость, ‰	Гетеротрофные бактерии		Пикофитопланктон		Гетеротрофные флагелляты		Фототрофные флагелляты		$B_{\Sigma}$ , мг С/м <sup>3</sup>
		N, 10 <sup>6</sup> кл/мл	B, мг/м <sup>3</sup>	N, 10 <sup>3</sup> кл/мл	B, мг/м <sup>3</sup>	N, кл/мл	B, мг/м <sup>3</sup>	N, кл/мл	B, мг/м <sup>3</sup>	
Пресноводная	<2	7.95 ± ± 1.12*	1377 ± ± 507	212 ± ± 89	364 ± ± 184	1572 ± ± 678	69.2 ± ± 69.3	161 ± ± 134	32.0 ± ± 30.5	363 ± ± 71
Пресноводная- солонатоводная	2–5	8.34 ± ± 1.50	1586 ± ± 476	273 ± ± 120	403 ± ± 189	1282 ± ± 446	72.1 ± ± 36.2	257 ± ± 162	48.0 ± ± 35.7	408 ± ± 60
Солонатоводная	5–8	6.93 ± ± 0.51	1190 ± ± 371	234 ± ± 87	352 ± ± 152	662 ± ± 324	36.0 ± ± 31.3	175 ± ± 128	27.6 ± ± 17.3	316 ± ± 53
Солонатоводная- морская	>8	7.91 ± ± 0.62	1689 ± ± 341	226 ± ± 103	288 ± ± 132	801 ± ± 185	52.8 ± ± 49.9	54 ± ± 107	15.2 ± ± 30.4	381 ± ± 65

Примечание. \* – среднее значение параметра ± стандартное отклонение.

фитофлагеллят отмечалось в пресноводной-солонатоводной зоне. Численность и биомасса гетеротрофных жгутиконосцев возрастали в пресноводной и пресноводной-солонатоводной зонах. Минимальные значения этих параметров характерны для зоны критической солености. В результате в этой зоне оказалась наименьшей общая биомасса микробного сообщества, а наибольшей она была в пресноводной-солонатоводной зоне.

Пространственно-временная изменчивость микробных сообществ в эстуариях и дельтах рек зависит от взаимодействия многих одновременно действующих факторов, наиболее важными из которых, кроме солености, являются концентрация растворенных и взвешенных органических веществ, соединений биогенных элементов и кислорода, температура, активность консументов и вирусов-бактериофагов (Findlay *et al.*, 1992; Crump *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2017). Для фотосинтезирующих микроорганизмов важна также освещенность. Все эти факторы в значительной степени определяются гидрологическими и метеорологическими условиями. На распределение микроорганизмов в дельте Меконга также оказывает влияние перераспределение стока по рукавам. Наиболее активны в современный период северные рукава (Кыатъеу, Митхо, Балай), в которых активно идут русловые процессы, чему способствует высокая скорость течения. При продвижении к югу, рукава теряют свою активность (Михайлов, Аракелянц, 2010), в них снижаются скорости течения, повышается прозрачность и увеличивается риск “цветения” воды фитопланктоном. По всей видимости, это связано с

уменьшением транспортирующей способности реки.

Биомасса пикофитопланктона обычно возрастает в градиенте трофии, тогда как ее вклад в формирование общей биомассы морского и пресноводного фитопланктона уменьшается (Bell, Kalff, 2001). Это связано с тем, что маленькие размеры и высокое отношение площади поверхности к объему клеток позволяют пикопланктону выигрывать конкуренцию за биогенные элементы у крупноразмерного фитопланктона и доминировать в олиготрофных водах. Однако пикопланктон, представленный прокариотными цианобактериями и эукариотными водорослями, может быть также главным компонентом фитопланктона в продуктивных эстуариях и прибрежных морских районах (Tsai *et al.*, 2010). Отношение биомасс гетеротрофного и фототрофного компонентов пикопланктона в градиенте трофии уменьшается: автотрофные компоненты вносят больший вклад в формирование биомассы пикопланктона в мезо- и эвтрофных водах, тогда как гетеротрофные – в олиготрофных (Santic *et al.*, 2014).

Биомасса гетеротрофного бактериопланктона в дельте Меконга отрицательно коррелировала с численностью ( $r = -0.316$ ) и биомассой ( $r = -0.448$ ) пикофитопланктона, что свидетельствует как о возможных конкурентах взаимоотношениях между этими группами микроорганизмов, так и о том, что их развитие могут контролировать разные факторы.

Исследования, проведенные в эстуарии р. Чжунцзян (Китай), выявили существенные различия в динамике гетеротрофных бактерий и пикоцианобактерий на пресноводных и солонатоводных участках в сухой и влажный сезоны (Li *et al.*, 2017).



Количество как пикоцианобактерий, в составе которых доминировали *Synechococcus* spp., так и гетеротрофных бактерий, возрастало во влажный сезон. Ключевым фактором формирования структуры бактериопланктона была соленость.

В дельте Меконга численность и биомасса гетеротрофного бактериопланктона были наименее вариабельными параметрами ( $C_V = 14.1$  и 34.6% соответственно) по сравнению с таковыми пикофитопланктона (41.3 и 48.7%), гетеротрофных (49.0 и 96.2%) и фототрофных (84.4 и 96.6%) жгутиконосцев. Известно, что бактерии являются наиболее стабильным компонентом биоты водоемов: таких резких, как у других групп гидробионтов, сезонных колебаний их количества не происходит, что свидетельствует об их устойчивости к изменению факторов окружающей среды и сбалансированности процессов их размножения и отмирания.

Разнообразие гетеротрофных нанофлагеллят в нижнем течении Меконга в начале сухого сезона было сравнительно невысоким: всего было идентифицировано 29 видов и форм из 8 крупных таксонов и группы неопределенного систематического положения. Численность и биомасса этих простейших, зарегистрированных в дельте Меконга, находятся в диапазоне этих параметров, определяемых в других морских и пресноводных экосистемах, в т. ч. в эстуариях рек, где их количество варьирует от  $<10^2$  до  $>10^4$  кл/мл, обычно достигая наибольших значений летом (McManus, Fuhrman, 1990; Huang *et al.*, 2008; Tsai *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2012).

Гетеротрофные нанофлагелляты являются основными потребителями бактерий и пикофитопланктона и представляют собой источник пищи для инфузур и зоопланктона, тем самым, играя важную роль в переносе углерода пикопланктона на более высокие уровни трофических сетей (Sanders, Wickham, 1993). К бактериотрофам относятся в основном мелкие флагелляты, тогда как более крупные виды могут выедать значительную часть биомассы фитопланктона (Verity *et al.*, 2002). Кроме бактерий и водорослей гетеротрофные нанофлагелляты могут использовать другие источники пищи, в частности, взвешенные и коллоидные органические вещества (Tranvik *et al.*, 1993; Scherwass *et al.*, 2005). Воды нижнего течения Меконга содержат большое количество органических и минеральных частиц, а большинство идентифицированных здесь видов гетеротрофных флагеллят относятся к бактерио-детритофагам.

Количество и биомасса простейших в устьевых участках рек обычно уменьшаются по направлению к морю (McManus, Fuhrman, 1990; Rychert *et al.*, 2014). В дельте Меконга общая численность гетеротрофных флагеллят, а также численность и биомасса мелких флагеллят отрицательно коррелировали с соленостью и положительно — с мутностью воды.

Достоверных корреляционных связей общей биомассы флагеллят с этими абиотическими параметрами обнаружено не было, но знаки коэффициентов корреляции были такими же. Зависимости между количественными показателями гетеротрофных флагеллят, бактерий и пикофитопланктона не были выявлены. По-видимому, это связано с тем, что в окружающей водной среде одновременно действует множество факторов, влияющих на развитие микроорганизмов. Кроме гетеротрофных и миксотрофных флагеллят другие консументы, такие как, инфузурии, используют в пищу как бактерий, так и флагеллят. Среди главных факторов, контролирующих пространственное распределение флагеллят в эстуариях, находятся соленость, температура, концентрация биогенных элементов и хлорофилла, количество пищевых объектов и активность консументов (McManus, Fuhrman, 1990; Huang *et al.*, 2008; Tsai *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2012; Rychert *et al.*, 2014).

Отношение численности бактерий к численности гетеротрофных флагеллят изменялось на разных участках в нижнем течении Меконга от 1709 до 31563 (в среднем,  $7375 \pm 4781$ ). Биомасса гетеротрофных флагеллят составляла 0.75–26.44% (в среднем,  $5.31 \pm 5.30\%$ ) биомассы бактериопланктона и 0.44–19.83% (в среднем,  $3.85 \pm 3.52\%$ ) суммарной биомассы бактерио- и пикофитопланктона. Это свидетельствует о хорошей обеспеченности жгутиконосцев пищевыми объектами, которые, по-видимому, не лимитировали их развитие. Вероятно, помимо абиотических факторов, важную роль в контроле гетеротрофных флагеллят в дельте Меконга играют инфузурии и многоклеточный зоопланктон (контроль “сверху”). При этом надо учитывать, хотя гетеротрофные флагелляты избирательно выедают крупных и активных бактерий, самых крупных палочек и нитей, которые составляют заметную часть бактериопланктона в дельте Меконга, большинство флагеллят не способны использовать в пищу.

В прибрежных морских водах более половины общего количества нанофлагеллят могут составлять фототрофные организмы (Hall *et al.*, 1993; Tsai *et al.*, 2011; Vargas *et al.*, 2012). Хотя не все из них способны к фаготрофии, т.е. являются миксотрофами, последние могут вносить существенный, иногда основной вклад в потребление бактерий (Nygaard, Tobiesen, 1993; Unrein *et al.*, 2007; Tsai *et al.*, 2011). Так, фитифлагелляты были ответственны за 86% потребления бактерий всеми флагеллятами в верхнем слое водной толщи зал. Орхус (Дания) (Havskum, Riemann, 1996).

В дельте Меконга фитифлагелляты были минорным компонентом микробного сообщества: их вклад в формирование общей микробной биомассы не превышал 6.0%, а в среднем, оказался равным 1.9%. Биомасса фототрофных флагеллят

составляла, в среднем, 31.5% общей биомассы флагеллят и была больше биомассы гетеротрофных флагеллят только на 20% исследованных участков, в основном пресноводных.

\*\*\*

Количество и распределение планктонных микроорганизмов в устьевой области р. Меконг зависит, в первую очередь, от гидрологических условий, а именно: стока реки и проникновения морских вод. В начале сухого сезона 2018 г. большая часть дельты находилась под влиянием пресных речных вод, и бактерии и другие микроорганизмы достигали высоких значений численности и биомассы. Это предполагает, что значительная часть потока углерода в этой тропической загрязненной экосистеме проходит через микробную петлю, представляющую собой важное связующее звено между первичными продуцентами и верхними уровнями планктонных трофических сетей. Дельта Меконга характеризовалась равномерным распределением микроорганизмов: значительных различий между пресными и солоноватыми участками обнаружено не было, что обусловлено быстрым течением, влиянием приливов и отливов, постоянной и высокой температурой, большой мутностью, действующим повсеместно мощным антропогенным воздействием. Флагелляты были в достаточной степени обеспечены своей основной пищей — пикопланктоном, и, по-видимому, их развитие, кроме гидрологических факторов, контролировалось “сверху” консументами. Дальнейшее изучение распространения, динамики, разнообразия и взаимоотношений микроорганизмов позволит оценить их значение в структурно-функциональной организации устьевых участков тропических рек и прогнозировать их реакции на антропогенные воздействия и климатические изменения.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания № 121051100102-2. Экспедиционные исследования в устьевой зоне р. Меконг проведены при финансовой и организационной поддержке Совместного Российско-Вьетнамского тропического центра.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аладин Н.В., Плотников И.С. Концепция относительности и множественности зон барьерных соленостей и формы существования гидросферы // Тр. Зоол. ин-та. РАН. 2013. Прил. № 3. С. 7–21.

Жуков Б.Ф. Атлас пресноводных гетеротрофных жгутиконосцев (биология, экология, систематика). Рыбинск: Дом печати, 1993. 160 с.

Копылов А.И., Косолапов Д.Б. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных вод // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Сборник материалов Межд. конф. / СПб.: Изд-во “Лема”, 2007. С. 176–181.

Михайлов В.Н., Аракельянц А.Д. Особенности гидрологических и морфологических процессов в устьевой области р. Меконг // Водн. рес. 2010. Т. 37. № 3. С. 259–273.

Alongi D.M., Dixon P., Johnston D.J. et al. Pelagic processes in extensive shrimp ponds of the Mekong delta, Vietnam // Aquaculture. 1999. V. 175. P. 121–141.

Asta M.P., Wang Y., Fruttschi M. et al. Microbially mediated release of As from Mekong Delta peat sediments // Environ. Sci. Technol. 2019. V. 53. № 17. P. 10208–10217.

Bell T., Kalf J. The contribution of picophytoplankton in marine and freshwater systems of different trophic status and depth // Limnol. Oceanogr. 2001. V. 46. P. 1243–1248.

Borsheim K.Y., Bratbak G. Cell volume to carbon conversion factors for a bacterivorous *Monas* sp. enriched from seawater // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1987. V. 36. P. 171–175.

Callieri C. Single cells and microcolonies of freshwater picocyanobacteria: a common ecology // J. Limnol. V. 69. 2010. P. 257–277.

Caron D.A. Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplankton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures // Appl. Environ. Microbiol. 1983. V. 46. № 2. P. 491–498.

Cloern J.E., Jassby A.D., Schraga T.S. et al. Ecosystem variability along the estuarine salinity gradient: Examples from long-term study of San Francisco Bay // Limnol. Oceanogr. 2017. V. 62. № S1. P. S272–S291.

Crump B.C., Hopkinson C.S., Sogin M.L., Hobbie J.E. Microbial biogeography along an estuarine salinity gradient: combined influences of bacterial growth and residence time // Appl. Environ. Microbiol. 2004. V. 70. P. 1494–1505.

Falkowski P.G., Fenchel T., DeLong E.F. The microbial engines that drive Earth’s biogeochemical cycles // Science. 2008. V. 320. P. 1034–1039.

Findlay S., Pace M.L., Lints D., Howe K. Bacterial metabolism of organic carbon in the tidal freshwater Hudson Estuary // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1992. V. 89. P. 117–153.

Gasol J.M., del Giorgio P.A., Duarte C.M. Biomass distribution in marine planktonic communities // Limnol. Oceanogr. 1997. V. 42. № 6. P. 1353–1363.

Hall J.A., Barrett D.P., James M.R. The importance of phytoflagellate, heterotrophic flagellate and ciliate grazing on bacteria and picophytoplankton sized prey in a coastal marine environment // J. Plankton Res. 1993. V. 15. P. 1075–1086.

Havskum H., Riemann B. Ecological importance of bacterivorous, pigmented flagellates (mixotrophs) in the Bay of Aarhus, Denmark // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1996. V. 137. P. 251–263.

- Huang B., Lan W., Cao Z. *et al.* Spatial and temporal distribution of nanoflagellates in the northern South China Sea // *Hydrobiologia*. 2008. V. 605. P. 143–157.
- Kan J., Suzuki M.T., Wang K. *et al.* High temporal but low spatial heterogeneity of bacterioplankton in the Chesapeake Bay // *Appl. Environ. Microbiol.* 2007. V. 73. № 21. P. 6776–6789.
- Le H.P., Le T.K., Nguyen T.P.O. Isolation and characterization of carbendazim-degrading bacteria in rice paddy soil in Can Tho, Vietnam // *Int. J. Adv. Res.* 2017. V. 5. № 6. P. 863–870.
- Li J., Jiang X., Jing Z. *et al.* Spatial and seasonal distributions of bacterioplankton in the Pearl River Estuary: The combined effects of riverine inputs, temperature, and phytoplankton // *Mar. Pollut. Bull.* 2017. V. 125. P. 199–207.
- Maclsaac E.A., Stockner J.G. Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy // *Handbook of methods in aquatic microbial ecology* / Eds Kemp P.F. *et al.* Boca Raton: Lewes Publishers, 1993. P. 187–197.
- McManus G.B., Fuhrman J.A. Mesoscale and seasonal variability of heterotrophic nanoflagellate abundance in an estuarine outflow plume // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1990. V. 61. P. 207–213.
- Meziti A., Kormas K.A., Moustaka-Gouni M., Karayanni H. Spatially uniform but temporally variable bacterioplankton in a semi-enclosed coastal area // *Syst. Appl. Microbiol.* 2015. V. 38. P. 358–367.
- Norland S. The relationship between biomass and volume of bacteria // *Handbook of methods in aquatic microbial ecology* / Eds Kemp P.F. *et al.* Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. P. 303–308.
- Nygaard K., Tobiesen A. Bacterivory in algae: A survival strategy during nutrient limitation // *Limnol. Oceanogr.* 1993. V. 38. № 2. P. 273–279.
- Ozaki H., Co T.K., Le A.K. *et al.* Human factors and tidal influences on water quality of an urban river in Can Tho, a major city of the Mekong Delta, Vietnam // *Environ. Monit. Assess.* 2014. V. 186. P. 845–858.
- Pomeroy L.R., Williams P.J.leB., Azam F., Hobbie J.I. The microbial loop // *Oceanography*. 2007. V. 20. № 2. P. 28–33.
- Porter K.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* 1980. V. 25. № 5. P. 943–948.
- Rychert K., Kownacka J., Wielgat-Rychert M., Pluto-Prączyńska A. Protozoan communities in the Vistula River estuary (Baltic Sea) // *J. Ecol. Prot. Coastline*. 2014. V. 18. P. 39–53.
- Sanders R.W. Trophic strategies among heterotrophic flagellates // *The biology of free-living heterotrophic flagellates*. Oxford: Clarendon Press, 1991. P. 21–38.
- Sanders R.W., Wickham S.A. Planktonic protozoa and metazoan: predation, food quality and population control // *Mar. Microb. Food Webs*. 1993. V. 7. № 2. P. 121–256.
- Šantic D., Šestanovic S., Šolic M. *et al.* Dynamics of picoplankton community from coastal waters to the open sea in the Central Adriatic // *Medit. Mar. Sci.* 2014. V. 15. № 1. P. 179–188.
- Scherwass A., Fischer Y., Arndt H. Detritus as a potential food source for protozoans: utilization of fine particulate plant detritus by a heterotrophic flagellate, *Chilomonas paramecium*, and a ciliate, *Tetrahymena pyriformis* // *Aquat. Ecol.* 2005. V. 39. P. 439–445.
- Selje N., Simon M. Composition and dynamics of particle-associated and free-living bacterial communities in the Weser estuary, Germany // *Aquat. Microb. Ecol.* 2003. V. 30. P. 221–237.
- Telesh I.V., Khlebovich V.V. Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review // *Mar. Pollut. Bull.* 2010. V. 61. P. 149–155.
- Tranvik L.J., Sherr E.B., Sherr E.F. Uptake and utilization of “colloidal DOM” by heterotrophic flagellates in seawater // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1993. V. 92. P. 301–309.
- Tsai A.Y., Gong G.C., Sanders R.W. *et al.* The impact of the Changjiang River plume extension on the nanoflagellate community in the East China Sea // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2010. V. 89. P. 21–30.
- Tsai A.Y., Gong G.C., Sanders R.W. *et al.* Importance of bacterivory by pigmented and heterotrophic nanoflagellates during the warm season in a subtropical Western Pacific coastal ecosystem // *Aquat. Microb. Ecol.* 2011. V. 63. P. 9–18.
- Unrein F., Massana R., Alonso-Saez L., Gasol J.M. Significant year-round effect of small mixotrophic flagellates on bacterioplankton in an oligotrophic coastal system // *Limnol. Oceanogr.* 2007. V. 52. P. 456–469.
- Vargas C.A., Contreras P.Y., Iriarte J.L. Relative importance of phototrophic, heterotrophic, and mixotrophic nanoflagellates in the microbial food web of a river-influenced coastal upwelling area // *Aquat. Microb. Ecol.* 2012. V. 65. P. 233–248.  
<https://doi.org/10.3354/ame01551>
- Verity P.G., Wassmann P., Frischer M.E. *et al.* Grazing of phytoplankton by microzooplankton in the Barents Sea during early summer // *J. Mar. Syst.* 2002. V. 38. P. 109–123.  
[https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(02\)00172-0](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(02)00172-0)
- Vørs N. Heterotrophic amoebae, flagellates and Heliozoa from the Tvärminne Area, Gulf of Finland, in 1988–1990 // *Ophelia*. 1992. V. 36. № 1. P. 1–109.
- Wada M., Mori F., Yokouchi K. *et al.* Comparison of planktonic microbial abundance and dissolved oxygen consumption between the aquaculture ponds of mudskippers and shrimps in the Mekong Delta, southern Vietnam // *Fish Sci.* 2016. V. 82. P. 787–797.
- Weisse T. Dynamics of autotrophic picoplankton in marine and freshwater ecosystems // *Adv. Microb. Ecol.* 1993. V. 13. P. 327–370.
- Wilbers G.-J., Becker M., Nga L.T. *et al.* Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam // *Sci. Total Environ.* 2014. V. 485–486. P. 653–665.

**Distribution of Bacteria, Picophytoplankton and Flagellates in the Mekong Delta****D. B. Kosolapov<sup>1, 2, #</sup>, N. G. Kosolapova<sup>1</sup>, A. I. Tsvetkov<sup>1</sup>, and Dinh Nguyen Ku<sup>3</sup>**<sup>1</sup> *Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, 152742 Russia*<sup>2</sup> *Cherepovets State University, Lunacharskogo, 5, Cherepovets, Vologda oblast, 162600 Russia*<sup>3</sup> *South Branch of the Russian-Vietnamese Tropical Center, No. 3, 3/2 Street, District 11, Ho Chi Minh City, Vietnam*<sup>#</sup> *e-mail: dkos@ibiw.ru*

For the first time in the Mekong Delta (Vietnam), the abundance and biomass of the main components of the planktonic microbial food web: bacteria, picophytoplankton, heterotrophic and phototrophic flagellates were determined, as well as the features of their spatial distribution and the species diversity of heterotrophic flagellates were studied. In this productive pol-luted tropical river ecosystem, heterotrophic bacteria were large in size, and their biomass reached high values characteristic of hypertrophic waters. They made the main contribution (73.8% on average) to the formation of the total biomass of the planktonic microbial community. The contribution of picophytoplankton, heterotrophic and phototrophic flagellates was, on average, 20.5, 3.9, and 1.9%, respectively. 29 species and forms of heterotrophic flagellates belonging to 8 large taxons and a group of uncertain taxonomic position were identified.

*Keywords:* bacteria, picophytoplankton, flagellates, microbial loop, Mekong Delta