

УДК [574.5:579.68](265.546)

Л.А. Гаретова, С.И. Левшина, Н.К. Фишер, С.Е. Сиротский,  
В.П. Шестеркин\*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА,  
ФИТОПИГМЕНТОВ И ГЕТЕРОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ  
ВДОЛЬ ГРАДИЕНТА СОЛЕННОСТИ В ЭСТУАРИЯХ МАЛЫХ РЕК  
БАССЕЙНА ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА**

Приведены данные по пространственному распределению органического вещества, его растворенной и взвешенной форм, углеводов, пигментов фитопланктона (хлорофиллов «а», «b», «с», суммы каротиноидов), численности эколого-трофических групп бактериопланктона в эстуариях двух малых рек в период совпадения речной межени и высокого прилива. Показано влияние морфолого-гидрологических характеристик устьевых областей малых рек на величину градиента солености в переходных зонах река–море. Дана оценка качества водной среды и уровня углеводородного загрязнения эстуариев малых рек Мучке и Токи.

**Ключевые слова:** эстуарии, растворенное, взвешенное органическое вещество, углеводороды, фитопигменты, хлорофилл «а», гетеротрофные, нефтеокисляющие бактерии.

Garetova L.A., Levshina S.I., Fisher N.K., Sirotsky S.E., Shesterkin V.P. Distribution of organic matter, phytopigments and heterotrophic bacteria along the salinity gradient in the estuaries of small rivers of the Tatar Strait basin // Izv. TINRO. — 2016. — Vol. 184. — P. 219–235.

Distribution of total organic matter and its dissolved and suspended forms was investigated in two small estuaries with different morphometric characteristics, as Muchke and Toki Lakes, in late July 2014 at the low tide phase. The time of survey was distinguished by low river discharge and high tides. Content of all forms of organic matter and hydrocarbons was higher in the estuarine waters, as compared with fresh river water, regardless of salinity. The dissolved form prevailed (79.7–98.6 % of the total organic matter content) with concentrations of 5.2–35.7 mg/l. Chlorophyll *a* dominated (up to 87 %) among phytopigments in both estuaries that corresponded to active development of microalgae. Toki Lake was distinguished by higher productivity and microplankton abundance. On the contrary, allochthonous organic matter was more abundant in Muchke Lake, where interrelation between destructors (heterotrophic bacteria number) and

---

\* Гаретова Людмила Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: [micro@ivep.as.khb.ru](mailto:micro@ivep.as.khb.ru); Левшина Светлана Ивановна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: [levshina@ivep.as.khb.ru](mailto:levshina@ivep.as.khb.ru); Фишер Наталья Константиновна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: [fisher@ivep.as.khb.ru](mailto:fisher@ivep.as.khb.ru); Сиротский Сергей Егорович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией; Шестеркин Владимир Павлович, кандидат географических наук, и.о. заведующего лабораторией, e-mail: [shesterkin@ivep.as.khb.ru](mailto:shesterkin@ivep.as.khb.ru).

Garetova Ludmila A., Ph.D., senior scientist, e-mail: [micro@ivep.as.khb.ru](mailto:micro@ivep.as.khb.ru); Levshina Svetlana I., Ph.D., senior scientist, e-mail: [levshina@ivep.as.khb.ru](mailto:levshina@ivep.as.khb.ru); Fisher Natalia K., Ph.D., senior scientist, e-mail: [fisher@ivep.as.khb.ru](mailto:fisher@ivep.as.khb.ru); Sirotsky Sergey E., Ph.D., head of laboratory; Shesterkin Vladimir P., Ph.D., acting head of laboratory, e-mail: [shesterkin@ivep.as.khb.ru](mailto:shesterkin@ivep.as.khb.ru).

primary producers (Chl *a* concentration) was observed. Oil-oxidizing microorganisms were up to 60 % of the heterotrophic bacteria number. The hydrocarbons content exceeded the maximal permissible level: 3.6 and 4.5 MPL in Muchke and Toki Lakes, respectively. Both estuaries were subjected to chronic hydrocarbon pressure.

**Key words:** chlorophyll *a*, dissolved organic matter, suspended organic matter, estuary, heterotrophic bacterium, oil-oxidizing bacterium, hydrocarbon, phytopigment.

## Введение

Эстуарии — переходные зоны между морскими и пресными водами с выраженным градиентом солености и изменчивым гидрологическим режимом. Они являются наиболее продуктивными зонами мирового океана и характеризуются наибольшим биоразнообразием (Telesh et al., 2013). В то же время эстуарии — зона транспорта химических загрязняющих веществ и природного материала из наземных экосистем в открытый океан (McLusky, Elliott, 2004). Одна из особенностей эстуариев — взаимное влияние реки и моря на все происходящие процессы, которое определяет двусторонний встречный характер основных потоков вещества и энергии. Экологическое состояние эстуариев зависит от геоморфологических, физических, химических и биологических процессов, а также антропогенного воздействия. Устойчивость эстуариев к различного рода воздействиям частично обусловлена их размерами. В последнее время экосистемы малых эстуариев все больше привлекают внимание исследователей (Барабанщиков, Колпаков, 2012; Callaway et al., 2014; Jickells et al., 2014; Pye, Blott, 2014). Предполагается, что даже небольшое вмешательство может оказывать большое влияние на эстуарии, имеющие относительно малые площади.

В южную часть Татарского пролива впадает множество малых и средних рек. Современный облик устьевых областей многих из них начал формироваться в 40-е гг. прошлого века в период строительства железной дороги Комсомольск-Совгавань. Железнодорожная магистраль, опоясывая побережье, затронула устья многих малых рек (Мучке, Токи, Большая и Малая Дюанка, Чистоводный и др.). Строительство мостов через устья рек сопровождалось сужением внешних участков эстуариев, что привело к образованию полузамкнутых лагун или приустьевых озер.

Нарушение естественного водообмена приводит к интенсификации процессов осадконакопления и, как следствие, к обмелению эстуариев, изменению динамического и теплового режимов. Накопление органического вещества (ОВ) в донных отложениях способствует эвтрофикации малых эстуариев.

В функционировании эстуариев важное место занимают процессы образования и разложения ОВ. Потенциальными продуцентами ОВ в эстуариях являются фитопланктон и фитобентос, макрофиты (водоросли и травы), а также микроорганизмы, которые одновременно могут быть и продуцентами ОВ, и его деструкторами. Существенное значение в формировании пула ОВ в зонах смешения речных и морских вод имеет терригенное ОВ речного стока (Пересыпкин и др., 2011). В нерестово-нагульных лососевых озерах дополнительным сезонным источником ОВ становятся сненки производителей лососей (Лепская и др., 2005). Антропогенная составляющая ОВ в эстуариях зачастую представлена нефтепродуктами (Немировская, 2004).

Исследования потоков ОВ и связанных с ними биотических компонентов экосистем проводятся в эстуариях многих рек мира. На территории России наиболее изучены в этом отношении эстуарии рек Северного Ледовитого океана (Широколобова, 2009; Hessen et al., 2010; Немировская, 2011; Столяров, 2011; Holmes et al., 2011), эстуарии Балтийского моря (Алимов, Голубков, 2008; Экосистема ..., 2008). На дальневосточном побережье России большое внимание уделяется эстуариям рек юга Приморского края (Семкин и др., 2012, 2015; Колпаков, 2013; Колпаков, Бегун, 2014; Чернова и др., 2014). Эстуарии малых рек Татарского пролива до настоящего времени остаются малоизученными.

Цель исследования — выяснение основных биогеохимических закономерностей распределения и состава ОВ, пигментов фитопланктона, численности эколого-тро-

фических групп бактериопланктона в эстуариях малых рек Мучке и Токи бассейна Татарского пролива.

### Материалы и методы

Малые реки Токи и Мучке протяженностью до 40 км берут начало на восточном макросклоне Северного Сихотэ-Алиня и впадают в Татарский пролив в районе пос. Ванино (рис. 1). Русла рек порожистые, с быстрым течением. Глубина рек в межень не превышает 0,3 м. Устьевая область р. Токи включает в себя одноименное озеро, сообщающееся с бухтой короткой (до 30 м) протокой шириной 12 м. Оз. Токи имеет площадь водного зеркала 0,23 км<sup>2</sup>, в отлив зона осушки составляет около 20 %. Оз. Мучке расположено в 1,1 км выше места впадения р. Мучке в одноименную бухту и имеет площадь водного зеркала 0,59 км<sup>2</sup>. В районе исследования приливы имеют неправильный полусуточный характер, высота 0,3–1,0 м. Во время прилива морские воды проникают в устья рек, во время отлива речные и морские воды сбрасываются в бухты. Исследуемые водные объекты испытывают антропогенную нагрузку: русла пересекаются автомобильным и железнодорожным мостами, на водосборе р. Токи находится полигон хранения твердых отходов пос. Ванино, на южном берегу оз. Мучке находится нефтехранилище, а в бухте Мучке действует морской угольный терминал.

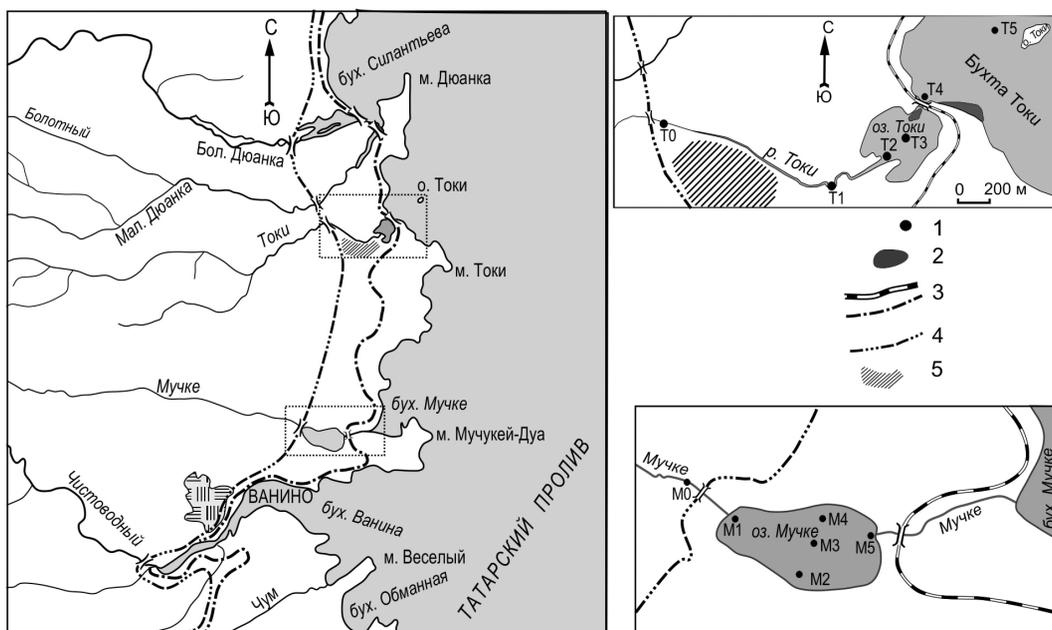


Рис. 1. Карта-схема района исследования: 1 — станции отбора проб; 2 — зона осушки; 3 — железная дорога; 4 — автомобильная дорога; 5 — полигон хранения твердых отходов

Fig. 1. Scheme of surveyed area: 1 — samplings; 2 — intertidal zone; 3 — railroad; 4 — autoroad; 5 — solid disposal tip

Схема расположения гидролого-гидрохимических и микробиологических станций, выполненных в ходе изучения эстуариев, представлена на рис. 1. Съемка выполнялась 23 и 25 июля 2014 г. на 6 станциях каждого из эстуариев. В эстуарии р. Мучке наблюдениями были охвачены речная зона (ст. М0) и верхняя часть внутреннего эстуария (ст. М1–М5). В эстуарии р. Токи выполнялись речные станции (ст. Т0, Т1), собственно эстуарные (ст. Т2–Т4) и морская (ст. Т5, внешний эстуарий). Пробы воды отбирались из поверхностного горизонта (15–20 см) в фазу отлива. Непосредственно в момент отбора проб на всех станциях определяли температуру, соленость, рН при помощи кондуктометра WQC-24 (DKK-TOA Corporation, Япония). В полевой лаборатории осуществляли фиксацию проб для химических анализов, фильтрование проб для определения взвешенных веществ и пигментов фитопланктона.

Содержание взвешенных веществ (ВВ) в воде определяли гравиметрическим методом\*. Определение содержания общего и растворенного органического углерода (соответственно  $C_{\text{общ}}$  и  $C_{\text{р}}$ ) осуществляли методом термокаталитического окисления с ИК-регистрацией (анализатор TOC-Ve, Shimadzu, Япония). Количество взвешенного органического углерода ( $C_{\text{в}}$ ) определяли по И.В. Тюрину с фотометрическим окончанием по Д.С. Орлову и Н.М. Гриндель (Бельчикова, 1975). Для отделения взвешенной фазы пробы воды фильтровали (под вакуумом) с использованием ядерных фильтров с размером пор 0,45 мкм. Содержание углеводов (УВ) определяли ИК-спектрометрическим методом с использованием концентратомера КН-2 (Сибэкоприбор, Россия) по стандартной методике\*\*. Фотосинтетические пигменты определяли согласно стандарту (ГОСТ 17.1.4.02-90) спектрофотометрическим методом на спектрофотометре Shimadzu модели UV-1650 PC.

Микробиологические посеы производили в полевой лаборатории не позднее 1 ч после отбора проб согласно общепринятым в водной микробиологии методам (Кузнецов, Дубинина, 1989). Численность эвтрофной группы сапрофитных бактерий (СБ) определяли на стандартном рыбопептонном агаре (РПА). На РПА, разбавленном в 10 раз, определяли численность гетеротрофных бактерий (ГБ), потребляющих умеренные концентрации ОВ. Численность нефтеокисляющих бактерий (НОБ) выявляли на среде Раймонда с нефтью, численность фенолрезистентных бактерий (ФРБ) — на среде РПА:10 с внесением фенола в концентрации 1 г/л. Результаты подсчета выражали в численности колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов в 1 мл воды. В сравнительных целях использовали данные по общей численности бактериопланктона в отливных водах эстуария р. Токи, полученные в летний период 2009–2011 гг. методом люминесцентной микроскопии с использованием красителя диамина-4,6-фенил-2-индолдихлоргидрата (DAPI) после фильтрации воды на черных поликарбонатных фильтрах «Nucleopore» с диаметром пор 0,2 мкм (Porter, Feig, 1980).

### Результаты и их обсуждение

В соответствии с морфолого-гидрологическими признаками оба исследованных водных объекта относятся к озерно-лагунным эстуариям (Михайлов, Горин, 2012) (табл. 1). В зависимости от водного режима реки и высоты приливов разница в глубинах на одних и тех же станциях может составлять до 1,5 м (Гаретова, Каретникова, 2010). При совпадении речной межени и высокого прилива в последней декаде июля 2014 г. наблюдалась пространственная неоднородность гидролого-гидрохимических показателей по разрезам «от реки к морю» в обоих водных объектах (табл. 1). В эстуарии р. Мучке максимальная глубина (3 м) отмечена на середине озера (ст. М3). По станциям внутреннего эстуария р. Токи глубины составляли 0,3–1,2 м при максимуме в устье р. Токи.

Температура речных вод не превышала 15 °С, что характерно для предгорных рек Сихотэ-Алиня. На пресноводных станциях рек Мучке и Токи (М0 и Т0) выявлены различия по величине минерализации (на порядок). По составу воды гидрокарбонатно-кальциевые, маломинерализованные, с повышенной цветностью и содержанием железа, что характерно для рек, дренирующих болотистые водосборы (Форина, Шестеркин, 2010).

Распределение температуры в эстуариях Мучке и Токи имеет общие черты, главной из которых является ее существенное увеличение в озерах по сравнению с речными водами. В эстуарии р. Мучке температура воды на отрезке между станциями М0 и М5 (расстояние 1,4 км) увеличивалась от 14,7 до 22,3 °С (на 7,6 °С). Температура

---

\* РД 52.24.468-2005. Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. Ростов н/Д: Гидрохим. ин-т, 2007. 11 с.

\*\* РД 52.24.476-2007. Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. Ростов н/Д: Гидрохим. ин-т, 2007. 13 с.

Таблица 1

Гидролого-гидрохимические параметры эстуариев рек Мучке и Токи в фазу отлива (июль 2014 г.)

Table 1

Hydrological and hydrochemical parameters of the Muchke and Toki estuaries in the low tide phase (July 2014)

Станция	Место отбора проб	L, км	Глубина, м	T, °C	S, епс	pH	M, г/л
M0	Русло р. Мучке (автомоб. мост)	2,50	0,25	14,7	0,00	6,82	0,029
M1	Устье р. Мучке	2,10	0,40	16,0	0,47	6,62	0,439
M2	Южный берег озера	1,50	0,45	22,6	2,97	7,37	2,770
M3	Середина озера	1,50	3,0	21,4	3,77	7,47	3,460
M4	Северный берег озера	1,50	1,0	22,9	3,91	7,35	3,580
M5	Выход из озера (железнодорож. мост)	1,10	0,70	22,3	4,55	7,58	4,130
T0	Русло р. Токи (автомоб. мост)	2,0	0,40	14,5	0,00	7,27	0,280
T1	Русло р. Токи	0,95	1,0	15,5	0,28	6,67	0,350
T2	Устье р. Токи	0,45	1,20	17,1	0,47	6,57	0,520
T3	Середина озера	0,25	0,52	20,8	10,58	7,07	9,010
T4	Выход из озера (железнодорож. мост)	0,03	0,30	20,2	15,34	7,35	12,650
T5	Бухта Токи	–	1,45	13,6	19,74	7,26	15,900

*Примечание.* L — расстояние от морской границы до станции отбора, S — соленость, M — минерализация.

воды в р. Токи была примерно на 1 °C выше в сравнении с морскими водами. Между станциями T0 и T3 (расстояние 1,75 км) температура воды увеличивалась более чем на 6 °C и на выходе водных масс из озера составляла 20,2 °C. Вследствие малых глубин оз. Токи (0,3–1,2 м) речные и морские воды хорошо перемешиваются и прогреваются.

Значение pH воды р. Мучке было ниже (6,82), чем воды р. Токи (7,27). В зонах смешения речных и морских вод pH закономерно увеличивался по мере увеличения солености (Лысенко, 2011). При этом в оз. Мучке pH увеличивался незначительно (от 7,27 до 7,58), а в оз. Токи в градиенте солености от 0,28 до 15,34 епс (единиц практической солености) более существенно — от 6,57 до 7,35. Среднее значение pH в оз. Токи (6,9) было ниже, чем в пресной воде реки и морской воде одноименной бухты. Снижение pH обычно характеризует восстановительные условия, которые создаются при доминировании анаэробных процессов трансформации ОВ в донных отложениях.

Главным морфологическим отличием, обуславливающим разницу в величине горизонтального градиента солености на обследованных участках эстуариев, является положение внутренних (озерных) частей эстуариев в пределах устьевых областей рек. Определенный вклад в величину градиента солености вносят площадь водного зеркала, глубина, очертания береговой линии.

На обследованном участке эстуария р. Мучке (табл. 1) фронт солености в фазу отлива обнаруживался в устье реки (ст. M1) на расстоянии 2,1 км от взморья. По разрезу «река–море» между станциями M0 и M5 (расстояние 1,4 км) соленость на период съемки увеличивалась от 0 до 4,55 епс. Такой градиент солености в эстуарии р. Мучке обусловлен слабым водообменном с морем за счет узости и относительно большой длины протоки (1,1 км), соединяющей озеро с морем, а также его вытянутостью по разрезу «река–море».

Распределение солености в эстуарной области р. Токи имеет иной характер по сравнению с эстуарием р. Мучке. Граница фронта солености в период съемки находилась в речной зоне (ст. T1) на расстоянии 0,95 км со стороны моря. Горизонтальный градиент солености более выражен по сравнению с эстуарием р. Мучке: изменение солености между станциями T1 и T4 (расстояние 0,92 км) составляло более чем 15 епс. Такая разница в величине градиента солености по сравнению с эстуарием р. Мучке обусловлена интенсивным водообменном с морем вследствие близости внутреннего эстуария р. Токи к взморью, малой его глубины и площади водного зеркала, а также за счет сжатости по разрезу «река–море».

Согласно теории строения и функционирования «маргинальных фильтров» (Лисицын, 2008), обследованный участок эстуария р. Мучке включает в себя гравитационную зону ( $S = 0,01-0,10$  епс), где обычно вследствие замедления течения происходит осаждение песчано-алевритовых фракций, и физико-химическую зону ( $S = 0,1-5,0$  епс), где при флокуляции и коагуляции растворенные ОВ переходят во взвешенную форму. В эстуарии р. Токи, кроме указанных зон, рассматривается биологическая зона ( $S = 5-17$  епс). Основным признаком работы маргинального фильтра является неконсервативное поведение веществ, которое проявляется в отклонении от линейной зависимости в графике «соленость–концентрация вещества» при разбавлении речных вод морскими (Kaul, Froelich, 1984; Звалинский и др., 2005).

Содержание ВВ в эстуариях рек Мучке и Токи (табл. 2) варьирует в диапазоне 9,3–44,3 мг/л, что значительно выше по сравнению с аналогичными водными объектами северо-востока Приморья, где в летний период массовая концентрация ВВ составляет 1,5–10,7 мг/л (Луценко и др., 2014). Количество взвеси зависит от гидрологического режима, типа дренируемых почв и геоморфологических особенностей водосбора. В эстуариях рек Мучке и Токи основным источником взвеси являются речные воды с содержанием ВВ более 30 мг/л. Во внутренней эстуарии р. Мучке содержание ВВ изменялось от 17,1 до 44,3 мг/л (в среднем 25,5 мг/л) при максимальном содержании на проточном участке (ст. М5) (табл. 2). В оз. Токи содержание взвеси колебалось от 13,3 до 24,3 мг/л (в среднем 17,1 мг/л) при максимальном количестве на границе фронта солености (ст. Т1). В обоих эстуариях отмечено снижение содержания ВВ на слабопроточных станциях (М2, М3 и Т2, Т3) по сравнению с речными водами и увеличение его содержания на мелководных проточных участках (ст. М5 и Т4) за счет взмучивания осадков.

Таблица 2  
Содержание органических веществ в воде эстуариев рек Мучке и Токи, мг/л

Table 2

Content of organic substances in water of the Muchke and Toki estuaries, mg/l

Станция	Дата отбора	ВВ	$C_{\text{общ}}$	$C_p$	$C_v$	УВ
М0	23.07.14	36,3	6,0	5,2	0,9	0,16
М1	«	24,9	20,6	20,3	0,3	0,10
М2	«	18,1	22,1	20,5	1,6	0,17
М3	«	17,1	25,6	23,8	1,9	0,18
М4	«	23,3	37,0	35,8	1,3	0,22
М5	«	44,3	11,5	9,4	2,2	0,25
Т0	25.07.14	20,7	13,8	13,1	0,7	–
Т1	«	30,6	9,0	7,1	1,8	0,10
Т2	«	13,3	9,2	7,6	1,6	0,34
Т3	«	13,7	13,1	11,0	2,2	0,27
Т4	«	24,3	15,2	12,8	2,4	0,21
Т5	«	9,3	11,3	10,0	1,3	0,22

Общий пул ОВ, соотношение в нем растворенного и взвешенного ОВ зависит от гидрологических условий, биологической продуктивности рассматриваемого водного объекта и биогеохимических условий его водосбора.

Содержание общего органического углерода в воде р. Мучке (ст. М0) в 2 раза ниже, чем на пресноводном участке р. Токи (ст. Т0) (табл. 2). Во внутренней части эстуария р. Мучке среднее содержание  $C_{\text{общ}}$  составляло 21,5 мг/л и было выше, чем в оз. Токи (среднее 12,1 мг/л). Такие величины содержания  $C_{\text{общ}}$  значительно выше таковых для лагунных озер северо-восточного побережья Приморья, где в летний период они не превышали 11 мг/л (Луценко и др., 2014).

К растворенному органическому веществу (РОВ) обычно относят всё ОВ воды, проходящее через мембраны фильтров с размером пор 0,45 мкм. Эта фракция ОВ включает не только собственно растворенные вещества, но и весь спектр коллоидов. Резервуар РОВ представляет собой смесь био- и геомолекул (геополимеров) с разной

устойчивостью к биоразложению и биоассимиляции (Романкевич и др., 2008, 2009). В составе РОВ морской воды обнаруживаются органические соединения, входящие в состав бактерий, простейших, фито- и зоопланктона. Среди таких соединений присутствуют белки, углеводы, липиды, пигменты, нуклеиновые кислоты, а также продукты деструкции растений и животных суши (Романкевич и др., 2009), поступающие в море с речным стоком и при диффузии из донных отложений. РОВ обеспечивает энергетические потребности осмотрофов и играет основную роль в функционировании бактериальной петли в водных экосистемах.

Содержание РОВ ( $C_p$ ) в эстуарии р. Мучке варьировало от 5,2 до 35,8 мг/л при средней величине 20,5 мг/л, что в 2 раза превышает таковое для эстуария р. Токи, где содержание  $C_p$  изменялось от 7,1 до 13,1 мг/л (среднее 10,2 мг/л). Следует отметить, что данные показатели в эстуариях рек Мучке и Токи значительно выше, чем в эстуариях рек Уссурийского залива (Семкин и др., 2012) и северо-восточного побережья Японского моря (Луценко и др., 2014), где содержание РОВ в летний период составляло соответственно 4,8–7,7 и 1,9–8,6 мг/л.

Смешение речных и морских вод, как правило, сопровождается интенсификацией биохимических процессов продукции и деструкции ОВ. На рис. 2 показано распределение  $C_p$  в градиентах солености исследованных эстуариев. В обоих случаях поведение  $C_p$  носило неконсервативный характер, но имело различия, обусловленные морфолого-гидрологическими особенностями обследованных водных объектов.

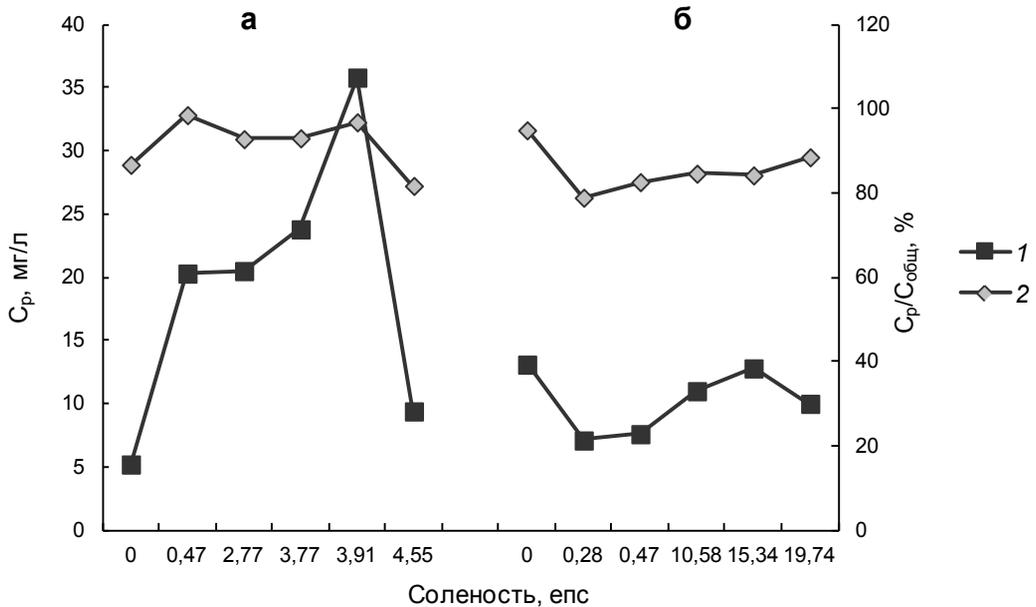


Рис. 2. Изменение содержания растворенного органического вещества в зависимости от солености в эстуариях рек Мучке (а) и Токи (б): 1 —  $C_p$ ; 2 — доля  $C_p$  от  $C_{общ}$

Fig. 2. Change of dissolved organic matter content in dependence on salinity in the Muchke (a) and Toki (b) estuaries: 1 — DOC, mg/l; 2 — DOC, % of total organic matter

В эстуарии р. Мучке (рис. 2, а) отклонение от линейности в сторону увеличения концентрации  $C_p$  наблюдалось в области солености от 0 до 3,91 eps. При относительно низком (5,2 мг/л) содержании  $C_p$  в русле р. Мучке такое масштабное (в 5 раз) увеличение содержания  $C_p$  в воде оз. Мучке, скорее всего, обеспечивается за счет как поверхностного стока с антропогенно-измененной территории водосбора, так и продуцирования ОВ непосредственно в озере. Одновременно происходило увеличение доли  $C_p$  в составе  $C_{общ}$ . Снижение как абсолютного содержания  $C_p$ , так и его доли от  $C_{общ}$  на проточном участке эстуария р. Мучке при солености 4,55 eps, вероятнее всего, обусловлено коагуляцией коллоидной формы РОВ, что характерно для физико-химической зоны маргинальных фильтров (Лисицын, 2008).

Вдоль градиента солености эстуария р. Токи распределение  $C_p$  имело свои особенности (рис. 2, б). В интервале солености от 0 до 0,28 епс содержание  $C_p$  и его доля в составе  $C_{\text{общ}}$  резко снижались, что характерно для зон смешения, где речные воды являются основными поставщиками РОВ терригенного генезиса. Вероятно, на момент исследования данный диапазон солености в эстуарии р. Токи соответствовал гравитационной зоне маргинального фильтра, где происходит уменьшение содержания как взвешенных, так и растворенных форм ОВ (Лисицын, 2008). При дальнейшем увеличении солености от 0,47 до 15,30 епс содержание  $C_p$  и его доля в составе  $C_{\text{общ}}$  увеличивались уже за счет РОВ, образующегося непосредственно в оз. Токи. Во внешней эстуарии ( $S = 19,74$  епс) содержание  $C_p$  снижается за счет разбавления морскими водами при сохранении высокой его доли (88,5 %) в составе  $C_{\text{общ}}$ .

Источниками  $C_b$  в водах эстуариев рек Мучке и Токи являются фитопланктон, бактерии, остатки древесных тканей, травянистых растений и макрофитов, а также такие гидрофобные соединения, как углеводороды.

Содержание  $C_b$  в речных водах существенно не различалось и составляло менее 1 мг/л. Во внутренней эстуарии р. Мучке содержание  $C_b$  колебалось от 0,3 до 2,2 мг/л (в среднем 1,4 мг/л), в оз. Токи — от 1,6 до 2,4 мг/л (в среднем 2,0 мг/л). Доля  $C_b$  в составе ВВ составляла от 1,2 до 16,0 %. На слабопроточных мелководных участках эстуариев (ст. М2, М3 и Т2, Т3) при снижении содержания ВВ доля  $C_b$  в его составе увеличивалась (табл. 2), что, вероятнее всего, обусловлено интенсификацией продукционных процессов под влиянием солености и температуры. В то же время наблюдаемое на проточных станциях М5 и Т4 одновременное увеличение содержания ВВ и  $C_b$  обусловлено отливным ресуспендированием, которое характерно для мелководных проточных участков эстуариев (Alvarez, Jones, 2002).

Содержание УВ в воде оз. Мучке составляло 0,10–0,25 мг/л (в среднем 0,18), в оз. Токи — 0,10–0,34 мг/л (в среднем 0,23). В обоих случаях отмечается превышение ПДК соответственно в 3,6 и 4,5 раза.

На рис. 3 показаны различия в распределении взвешенных ОВ в обследованных эстуариях. В градиенте солености эстуария р. Мучке (0–4,55 епс) содержание УВ имеет прямую зависимость от концентрации  $C_b$ , что указывает на их единое происхождение. На рис. 3 (а) видно, что  $C_b$  и входящие в его состав УВ поступают в эстуарий с водами р. Мучке. При увеличении солености от 0 до 0,47 епс происходит одновременное снижение содержания  $C_b$  и УВ вследствие их осаждения. Однако при дальнейшем увеличении солености содержание данных компонентов в воде эстуария не только не снижается, но и увеличивается. Во внутренней части эстуария р. Токи вдоль градиента солености 0,28–5,30 епс наблюдалось увеличение содержания  $C_b$  и УВ (рис. 3, б). Уменьшение их содержания отмечалось только во внешней эстуарии при солености 19,74 епс за счет разбавления морскими водами.

Различия в распределении данных компонентов в эстуариях, вероятно, обусловлены тем, что в оз. Мучке УВ представлены взвешенной, мало трансформированной фракцией, что характерно для свежего загрязнения нефтепродуктами (Немировская, Сивков, 2012). В оз. Токи доминируют растворенные, трансформированные УВ, имеющие преимущественно биогенный генезис и диффундирующие из донных отложений за счет малых глубин озера (Гаретова, 2014).

Обычно среднее отношение РОВ к взвешенному ОВ как в океане, так и в озерах составляет 10 : 1 (Wetzel, 1984). По станциям эстуария р. Мучке данное соотношение варьирует в значительном диапазоне от 4,3 : 1,0 до 28,4 : 1,0, в эстуарии р. Токи — от 4 : 1 до 17 : 1. Значения отношений  $C_p/C_b$  для внутренних эстуариев рек Мучке и Токи составляют соответственно 14 : 1 и 5 : 1, что может указывать на более высокую продуктивность Токи.

Главным критерием продуктивности водных экосистем является первичная продукция как первоисточник энергии для гетеротрофных организмов. Сходство генезиса пигментов и ОВ в водоеме и одновременное участие этих веществ в деструкции отражают синхронность гидрологических и биологических процессов, что придает

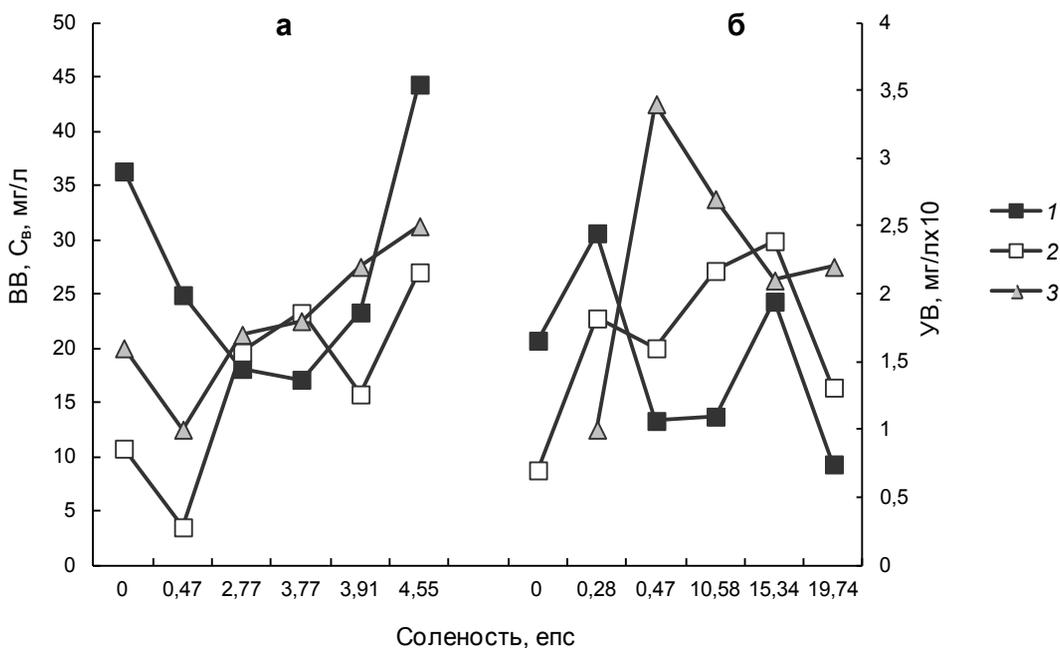


Рис. 3. Изменение содержания взвешенных компонентов в градиентах солёности эстуариев рек Мучке (а) и Токи (б): 1 — ВВ; 2 —  $C_b$ ; 3 — УВ

Fig. 3. Change of suspended components content along salinity gradient in the Muchke (а) and Toki (б) estuaries: 1 — suspended matter, mg/l; 2 — POC, mg/l; 3 — hydrocarbons, mg/l $\times 10$

пигментным характеристикам фитопланктона значение интегральных экосистемных показателей (Бульон, 1983). Соотношения между различными пигментами фитопланктона позволяют судить о преобладании той или иной группы водорослей в водной среде. Так, основную массу морского фитопланктона составляют диатомовые и перидиниевые водоросли, которые содержат хлорофиллы «а» и «с». Фитопланктон лагунных озёр восточного Сихотэ-Алиня представляет собой в основном комплекс диатомовых водорослей (Medvedeva, 2001).

Наиболее важным в реакциях фотосинтеза является хлорофилл «а» (хл. «а»). Его концентрация тесно связана с биомассой фитопланктона и зависит от комплекса факторов.

В эстуарии р. Мучке концентрация хл. «а» варьировала от 1,21 до 7,18 мг/м<sup>3</sup> (в среднем 3,15 мг/м<sup>3</sup>) (табл. 3). Для вод эстуария р. Токи содержание хл. «а» изменялось в гораздо большем диапазоне (1,54–15,23 мг/м<sup>3</sup>), его среднее значение (7,38 мг/м<sup>3</sup>) было в 2 раза выше, чем в эстуарии р. Мучке.

Распределение хл. «а» в обследованных эстуариях имело общие черты: как максимальные концентрации хл. «а», так и максимальное его процентное содержание от суммы хлорофиллов были приурочены к озерным мелководьям (ст. М2, М5, Т3, Т4) и соответствовали температурным максимумам (рис. 4), что демонстрирует преимущественное влияние температуры на развитие фитопланктона и согласуется с литературными данными (Rice, Stewart, 2013). На выходе из оз. Мучке (ст. М5) содержание хл. «а» в прогретых осолоненных водах было в 3 раза выше, чем в пресной воде речного участка (ст. М0) (рис. 4, а). Интенсивное развитие фитопланктона наблюдалось в оз. Токи в интервале солёности 0,45–15,34 eps (рис. 4, б). Увеличение концентрации хл. «а» при увеличении солёности наблюдалось в эстуариях рек Артемовка и Шкотовка (Японское море) в летний период (Семкин и др., 2012, 2015). Ранее (Almeida et al., 2002) было показано, что биомасса и продукция фитопланктона может увеличиваться вдоль градиента солёности в направлении к внутренней части эстуария в 8 раз. В наших исследованиях увеличение содержания фитопланктона (по концентрации хл. «а») во внутреннем эстуарии р. Токи по сравнению с морем составило более 9 раз, а по сравнению с пресными водами около 7 раз.

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне эстуариев рек Мучке и Токи  
Table 3  
Content of photosynthetic pigments in phytoplankton of the Muchke and Toki estuaries

Станция	Дата отбора	S, епс	Содержание пигментов, мг/м <sup>3</sup>				C <sub>к</sub> /C <sub>хл. «а»</sub>
			Хл. «а»	Хл. «b»	Хл. «с»	Кар.	
M0	23.07.14	0,00	1,36	0,73	0,75	2,1	1,54
M1	«	0,47	3,46	1,16	1,10	3,4	0,98
M2	«	2,97	7,18	1,13	0,81	5,6	0,78
M3	«	3,77	1,21	0,83	0,47	2,5	2,07
M4	«	3,91	1,38	0,50	0,54	2,5	1,81
M5	«	4,55	4,33	1,01	0,88	6,0	1,38
T0	25.07.14	0,00	2,19	1,08	0,65	3,0	1,37
T1	«	0,28	2,47	1,17	0,82	2,9	1,17
T2	«	0,47	2,21	0,82	0,75	2,6	1,18
T3	«	10,58	15,23	0,09	2,18	15,1	0,99
T4	«	15,34	14,79	0,33	1,93	14,3	0,96
T5	«	19,74	1,54	0,32	0,19	1,8	1,16

Примечание. Кар. — каротиноиды, C<sub>к</sub>/C<sub>хл. «а»</sub> — соотношение концентрации каротиноидов и концентрации хл. «а».

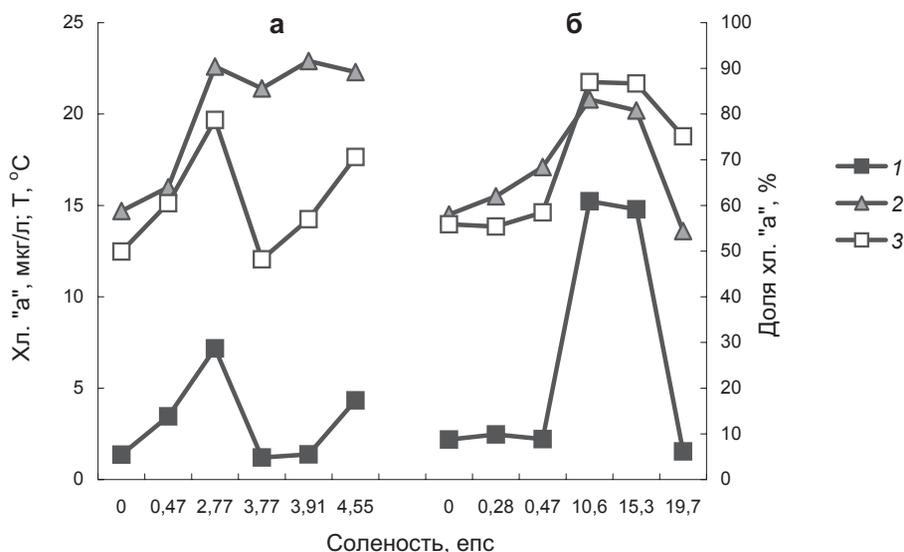


Рис. 4. Изменение содержания хлорофилла «а» в эстуариях рек Мучке (а) и Токи (б): 1 — хл. «а»; 2 — температура; 3 — хл. «а», доля от суммы пигментов

Fig. 4. Change of Chl a concentration in the Muchke (а) and Toki (б) estuaries: 1 — Chl a, µg/l; 2 — water temperature, °C; 3 — Chl a, % of total phytoplankton pigments

Величина отношения концентрации каротиноидов к концентрации хл. «а» в эстуарии р. Мучке составляла 0,78–2,07, а в эстуарии р. Токи — 0,96–1,37 (табл. 3), что находится в пределах условного (< 2) порога, характеризующего активно функционирующие фитопланктонные сообщества (Бульон, 1983). На это же указывает невысокая, не более 26,4 %, доля хл. «с» от суммы фотосинтетических пигментов в данных водных объектах, т.е. фитопланктон в переменных условиях солености эстуариев рек Мучке и Токи находится в активном состоянии.

Значительные флюктуации процентного содержания фотосинтетических пигментов в эстуариях рек Мучке и Токи (рис. 5) свидетельствуют о качественных функциональных изменениях в фитоценозе, скорее всего обусловленных изменением видового состава фитопланктона в условиях переменной солености. Определение даже небольшого количества хл. «b» указывает на развитие мелких жгутиковых (зеленых) и сине-зеленых водорослей (Трофимова, 2007). Так, в эстуарии р. Мучке доля хл. «b»

варьировала от 12,4 до 33,0 % от суммы хлорофиллов. В градиенте солёности эстуария р. Токи (0–19,7 епс) доля хл. «b» варьировала в гораздо большем диапазоне (от 0,5 до 27,5 % от суммы). Снижение содержания хл. «b» отмечалось в интервале солёности от 0 до 10,58 епс и, вероятно, было обусловлено снижением доли пресноводных жгутиковых в сообществе микроводорослей. Вместе с тем в бухте Токи при солёности воды 19,74 епс вновь отмечалось увеличение доли хл. «b» за счет галофильных жгутиковых, т.е. маркируемые составом фитопигментов изменения в составе фитопланктона зависят от градиента солёности в данных эстуариях (Muylaert et al., 2009; Khemakhem et al., 2010). Имеются данные о том, что в эстуариях реакции фитопланктона на перемешивание воды происходят быстрее, чем в открытом море, что влечет за собой более быструю смену разных слагаемых фотосинтезирующего аппарата (MacIntry et al., 2000).

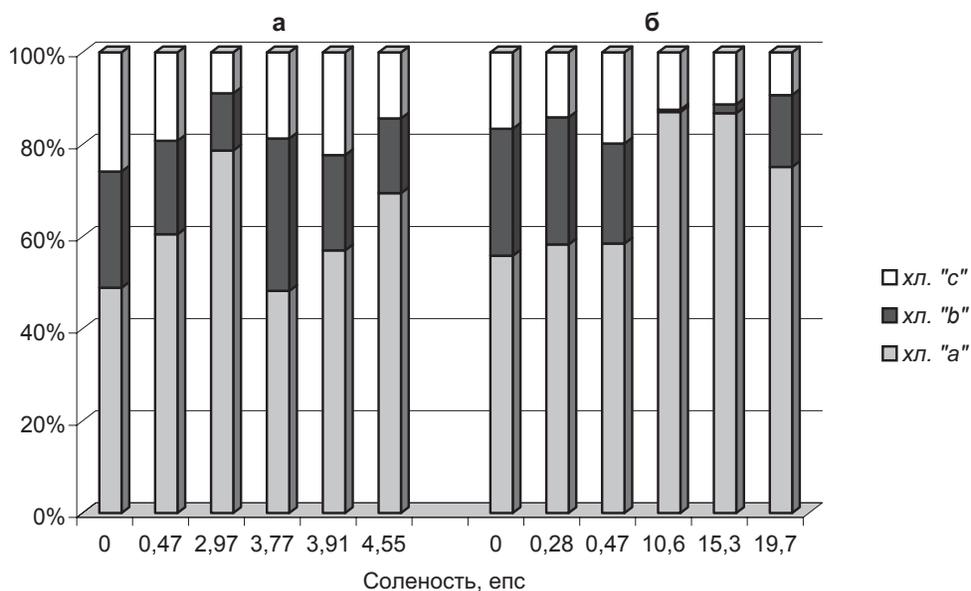


Рис. 5. Содержание фотосинтетических пигментов в биомассе фитопланктона: **а** — эстуарий р. Мучке; **б** — эстуарий р. Токи

Fig. 5. Content of photosynthetic pigments in phytoplankton biomass: **a** — Muchke estuary; **b** — Toki estuary

До настоящего времени общепринятых критериев для типологии эстуариев не разработано, поэтому оценка трофического статуса исследуемых водных объектов проводилась в соответствии с классификацией для пресноводных экосистем (Бульон, 1983; Сиренко, 1988).

По содержанию хл. «а» были дифференцированы участки устьевых областей с различной продуктивностью фитопланктона. При концентрации хл. «а» в воде до 3 мг/м<sup>3</sup> водный объект относится к олиготрофному типу с качеством вод «очень чистые». Такими характеристиками обладают воды верхних участков русел рек Мучке и Токи. В оз. Мучке концентрация хл. «а» составляла в среднем около 5 мг/м<sup>3</sup>, что соответствует мезотрофному уровню водного объекта с качеством вод категории «чистые». Отливные воды из оз. Токи характеризуются как «умеренно загрязненные», а его трофический статус укладывается в диапазон концентраций 9–15 мг/м<sup>3</sup>, соответствующий слабо эвтрофному уровню.

Для органических веществ важнейшие закономерности связаны с деятельностью бактериопланктона, поскольку в водных экосистемах одновременно с биосинтезом происходит микробиологическая трансформация автохтонных и аллохтонных веществ.

Регулярные наблюдения за распределением бактериопланктона в эстуарии р. Токи проводились в 2009–2011 гг. при различных вариантах сочетания гидрологического режима реки и моря (Гаретова, 2013). Общая численность бактериопланктона колебалась в значительных пределах (от 0,40 до 2,16 млн кл/мл). Было установлено, что независимо от водного режима реки и моря они увеличивались во внутренней эстуарии р. Токи по

сравнению с речным и морским участками. В градиенте солености эстуария р. Токи прослеживалась прямая зависимость между общей численностью бактериопланктона, температурой воды и содержанием РОВ (рис. 6).

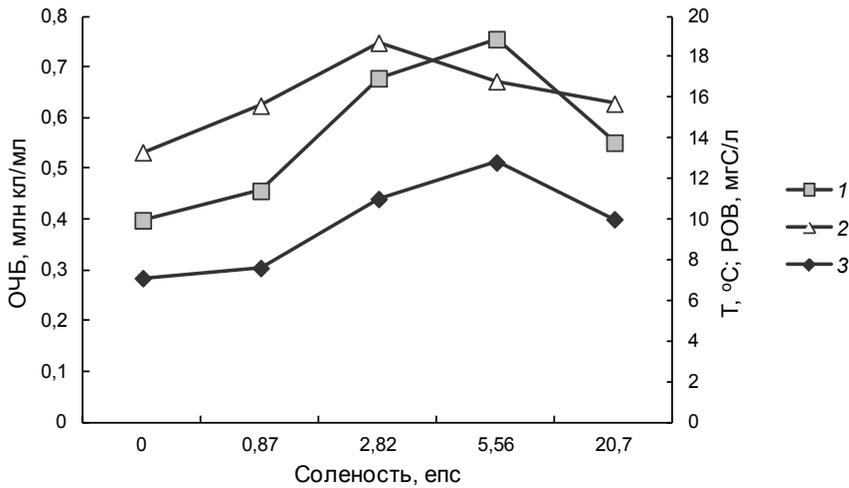


Рис. 6. Зависимость общей численности бактериопланктона (1) от температуры воды (2) и содержания РОВ (3) в градиенте солености эстуария р. Токи (июль 2010 г.)

Fig. 6. Correspondence of the total bacterioplankton abundance change along salinity gradient (1) with changes of water temperature (2) and DOM (3) for the Toki estuary in July 2010

Морфологический состав бактериопланктона в зависимости от солености воды различается. В воде р. Токи доминируют крупные палочки, в водах с умеренной соленостью (3–6 eps) палочки и кокки содержатся в приблизительно равных количествах, при увеличении солености более 15 eps увеличивается морфологическое разнообразие бактерий: появляются мелкие палочки, изогнутые палочки, длинные тонкие палочки, очень мелкие кокки. Известно, что кокковые формы преимущественно используют легкоусвояемое, а палочковидные — трудноусвояемое ОВ, а изменение соотношения структурных групп бактерий является показателем микробной сукцессии (Теплинская, 2006).

Численность и соотношение культивируемых эколого-трофических групп бактерий являются важным показателем состояния бактериопланктонного сообщества, его способности к деструкции различных органических веществ.

Группа гетеротрофных бактерий, как правило, составляет основу автохтонного микробного сообщества в водных экосистемах. В летнюю межень 2014 г. численность культивируемых ГБ в воде рек Мучке и Токи (ст. М0 и Т0) не превышала 10 тыс. КОЕ/мл (табл. 4), что является типичным для холодноводных малых рек Сихотэ-Алиня в летний период (Гаретова, 2009). Средняя численность ГБ в оз. Токи была в 2 раза выше, чем в оз. Мучке, что, вероятнее всего, обусловлено чрезвычайной мелководностью оз. Токи. Здесь сочетаются два основных фактора, регулирующих бактериальную активность, — наличие субстрата для развития бактерий (доступное ОВ) и более высокие температуры воды.

В целом распределение отдельных эколого-трофических групп бактериопланктона в обследованных эстуариях имеет тенденцию к увеличению численности в мезогалинных зонах внутренних эстуариев по сравнению с граничными зонами в 2–3 раза, что согласуется с распределением общей численности бактериопланктона в эстуарии р. Токи. Аналогичные данные были получены при исследовании бактериопланктонных сообществ эстуарных областей Баренцева моря (Ширококолобова, 2009).

На проточных участках эстуария р. Мучке (ст. М0 и М5) низкая величина отношения численности ГБ/СБ (0,98 и 0,35) показывает (табл. 4), что здесь ОВ находится на начальных этапах деструкции с участием копитроффов. Во внутренней части эстуария преобладают деструкционные процессы с преимущественным участием ГБ, ассимилирующих легкоокисляемое ОВ (ГБ/СБ = 5,3–10,5).

## Microbial communities composition in the Muchke and Toki estuaries

Станция	Дата отбора проб	Численность микроорганизмов, КОЕ/мл				ГБ/СБ
		ГБ	СБ	ФРБ	НОБ	
M0	23.07.14	$1,2 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$2,70 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$	0,98
M1	«	$8,5 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$9,10 \cdot 10^2$	$5,7 \cdot 10^3$	6,97
M2	«	$9,6 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$	$1,30 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^3$	5,29
M3	«	$7,1 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$	$0,20 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^3$	10,50
M4	«	$6,3 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$	$0,30 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^3$	1,90
M5	«	$1,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$0,20 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^3$	0,35
T0	25.07.14	$6,1 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^3$	$1,00 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^3$	13,55
T1	«	$12,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^3$	10,29
T2	«	$23,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	$3,80 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^3$	16,40
T3	«	$7,7 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$0,05 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^3$	4,70
T4	«	$9,2 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$0,25 \cdot 10^2$	$0,6 \cdot 10^3$	5,35
T5	«	$0,6 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	Не обн.	$0,3 \cdot 10^3$	0,56

В микробном сообществе пресных и слабосоленых вод эстуария р. Токи ведущая роль в деструкции ОВ принадлежит ГБ (ГБ/СБ = 10,3–16,4). С увеличением солёности активизируется сапротрофная группа бактериопланктона (ГБ/СБ = 5,35–0,56).

В эстуарии р. Мучке в диапазоне солёности от 0 до 3,9 епс наблюдалась прямая зависимость между численностью ГБ и содержанием хл. «а» (рис. 7, а). Вероятно в составе РОВ эстуария р. Мучке преобладает трудноокисляемое терригенное ОВ, поэтому ведущую роль источника питания для бактериопланктона здесь приобретает ОВ, синтезируемое фитопланктоном, что согласуется с литературными данными (Весquevort et al., 2002; Revilla et al., 2002).

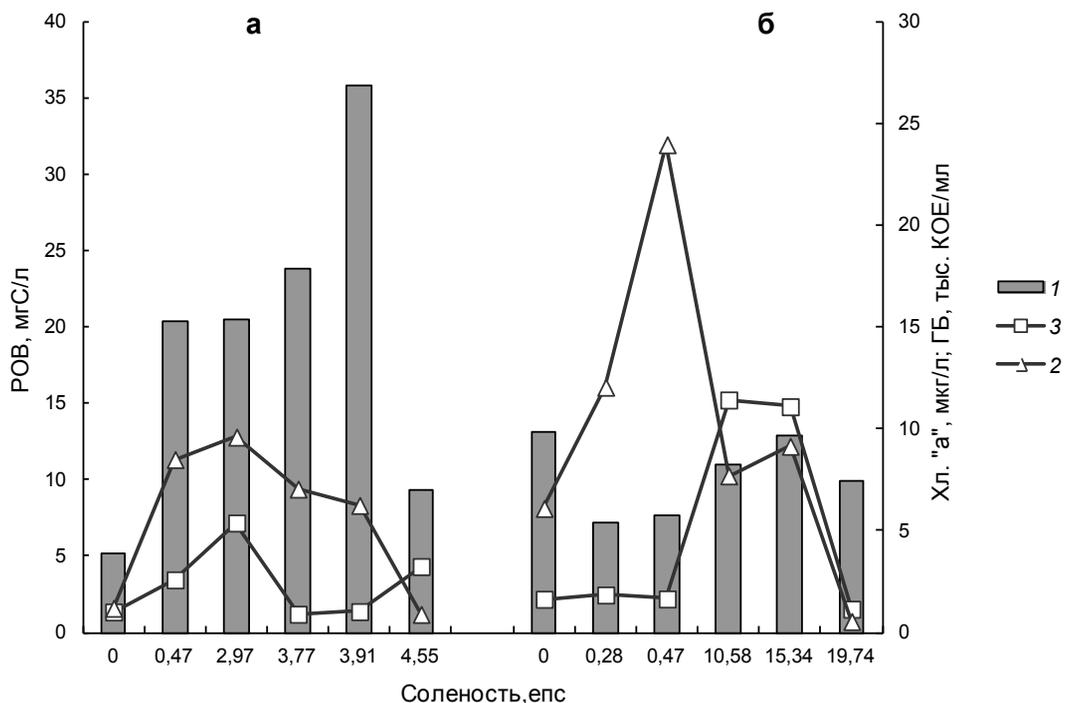


Рис. 7. Распределение компонентов в воде эстуариев рек Мучке (а) и Токи (б): 1 — РОВ; 2 — численность гетеротрофных бактерий; 3 — хлорофилл «а»

Fig. 7. Spatial distribution of DOM, mgC/l (1), number of heterotrophic bacteria, CFU/ml (2), and Chl a concentration, µg/l (3) in the Muchke (а) and Toki (б) estuaries

В эстуарии р. Токи уменьшение содержания РОВ сопровождается увеличением численности ГБ — главных потребителей РОВ (рис. 7, б). Вероятнее всего, в таком мелководном озере в гетеротрофную пищевую цепь активно включается РОВ, образующееся при разложении остатков макрофитов в донных отложениях и диффундирующее в воду за счет малых глубин. Здесь РОВ, продуцируемое фитопланктоном, приобретает второстепенное значение. На примере малых эстуариев Приморья показано, что только за счет макрофитов (без учета других групп первичных продуцентов) обеспечивается уровень продуцирования ОВ до  $902,1 \text{ гС/м}^2$  (Колпаков, 2013). Известно, что с увеличением трофии водных объектов величина потоков ОВ из донных отложений увеличивается (Белкина, 2011).

Численность фенолрезистентных бактерий в исследованных водных объектах была невелика, не более 1 тыс. КОЕ/мл, что указывает на отсутствие хронического загрязнения эстуариев соединениями фенольного ряда.

Иная картина наблюдалась в отношении численности нефтеокисляющих бактерий. Их содержание в сообществах ГБ рассматриваемых эстуариев достигало 97,7 %, что значительно превышает установленный для незагрязненных углеводородами вод показатель 10 % (Патин, 2001), это может быть обусловлено регулярным поступлением УВ и их стимулирующим влиянием на развитие нефтеокисляющей способности микроорганизмов. Формирование повышенных концентраций УВ в водной среде эстуариев, вероятнее всего, обеспечивает поверхностный сток с автомобильной трассы, территории нефтехранилища на берегу оз. Мучке, территории полигона хранения твердых отходов, расположенного на правом берегу р. Токи. Дополнительный вклад осуществляется за счет диффузии УВ из донных отложений, что согласуется с данными по содержанию и распределению УВ в воде эстуариев рек Мучке и Токи.

### Заключение

Проведена сравнительная оценка распределения абиотических и биотических компонентов в эстуариях малых рек при равном влиянии гидрологического режима и различном пространственным расположением фронта солёности. Различия в величине градиента солёности внутренних эстуариев рек Мучке и Токи главным образом определяются их удаленностью от взморья, влияющей на водообмен с морем, а также величиной площади водного зеркала, глубиной, очертаниями береговой линии. На момент совпадения речной межени и высокого прилива в июле 2014 г. обследованный участок эстуария р. Мучке характеризовался олигогалинной зоной с градиентом солёности 0–4,55 епс. Величина градиента солёности в эстуарии р. Токи составляла 0–19,47 епс (олиго- и мезогалинная зоны).

Распределение форм ОВ ( $C_{\text{общ}}$ ,  $C_p$ ,  $C_v$ , УВ) вдоль градиента солёности в обследованных эстуариях характеризуется «неконсервативным» поведением, выражающимся в увеличении содержания данных компонентов во внутренних частях эстуариев за счет увеличения продуцирования автохтонного ОВ, накопления терригенного ОВ, диффузии различных веществ из донных отложений. Органическое вещество в отливных водах эстуариев рек Мучке и Токи находится в основном в растворенной форме (79,7–98,6 % от  $C_{\text{общ}}$ ).

Роль фито- и бактериопланктона как источников ОВ в биологической зоне эстуария р. Токи возрастает за счет благоприятного для их развития сочетания гидрологических условий (глубина, температура, солёность). В целом по показателям обилия микропланктона (концентрация хл. «а», численность микроорганизмов), в 2 раза превышающим таковые в оз. Мучке, оз. Токи характеризуется большей продуктивностью. Прямая зависимость между численностью деструкторов (ГБ) и активностью первичных продуцентов (хл. «а») проявлялась лишь в водных массах оз. Мучке с высоким фоном аллохтонной органики.

По содержанию  $C_{\text{общ}}$  в воде (среднее 23,4 мг/л) оз. Мучке соответствовало высокоэвтрофному уровню, а по уровню продуцирования фитопланктона, определяемому по концентрации хл. «а», оно оценивалось мезотрофным уровнем

(средняя концентрация хл. «а» 4 мг/м<sup>3</sup>). Такие различия в оценке трофического статуса, вероятнее всего, обусловлены доминированием в воде эстуария р. Мучке аллохтонного ОВ. Слабый водообмен с морем приводит к накоплению органики в воде и донных отложениях, увеличению внутренней нагрузки и дальнейшему эвтрофированию оз. Мучке.

Оценки экологического состояния оз. Токи по всем показателям совпадают. Воды оз. Токи характеризуются как «умеренно загрязненные» ( $C_{\text{общ}} = 9,0\text{--}15,2$  мг/л), а содержание хл. «а» (9–15 мг/м<sup>3</sup>) соответствует эвтрофному уровню. Интенсивный водообмен с морем лагунной экосистемы эстуария р. Токи способствует аутвеллингу (выносу) органических веществ и биотических компонентов в море, снижению внутренней биогенной нагрузки и снижению антропогенного загрязнения эстуария.

Судя по концентрациям УВ (более 4 ПДК) в водных потоках из внутренних частей эстуариев рек Мучке и Токи, а также по высоким показателям численности нефтеокисляющих бактерий, благодаря работе маргинального фильтра НУ поглощаются далеко не полностью и поступают в прибрежную зону Татарского пролива.

### Список литературы

- Алимов А.Ф., Голубков С.М.** Изменения в экосистемах восточной части Финского залива // Вестн. РАН. — 2008. — Т. 78, № 3. — С. 223–230.
- Барабанщиков Е.И., Колпаков Н.В.** Состав, распределение, динамика и продукция зоопланктона эстуариев Приморья // Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление : мат-лы Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2012. — С. 448–460.
- Белкина Н.А.** Роль донных отложений в процессах трансформации ОВ и биогенных элементов в озерных экосистемах // Тр. КНЦ РАН. — 2011. — № 4. — С. 35–45.
- Бельчикова Н.П.** Определение гумуса почвы по методу И.В. Тюрина // Агрохимические методы исследования почв. — М. : Наука, 1975. — С. 56–62.
- Бульон В.В.** Первичная продукция планктона внутренних водоемов : моногр. — М. : Наука, 1983. — 150 с.
- Гаретова Л.А.** Биогенные углеводороды и их влияние на оценку нефтяного загрязнения (на примере устьевой области реки Токи, Хабаровский кр.) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2014. — Вып. 6. — С. 152–158.
- Гаретова Л.А.** Характеристика стока органических веществ и бактериопланктона в устьевой области малой реки Токи (Татарский пролив) // Жизнь пресных вод. — Владивосток : Дальнаука, 2013. — Вып. 1. — С. 174–186.
- Гаретова Л.А.** Эколого-микробиологическая оценка лососевых рек Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 175–181.
- Гаретова Л.А., Каретникова Е.А.** Гидрохимические и микробиологические показатели в оценке экологического состояния малых эстуарных систем (на примере оз. Токи, Татарский пролив) // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 294–305.
- Звалинский В.И., Недашковский А.П., Сагалаев С.Г. и др.** Биогенные элементы и первичная продукция в эстуарии реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 2. — С. 107–116.
- Колпаков Н.В.** Продукция макрофитов в эстуариях рек Приморья // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 135–148.
- Колпаков Н.В., Бегун А.А.** Состав и распределение микроводорослей в эстуарии реки Суходол (Усурийский залив, залив Пера Великого) в осенний период. 1. Фитопланктон // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — С. 115–126.
- Кузнецов С.И., Дубинина Г.А.** Методы изучения водных микроорганизмов : моногр. — М. : Наука, 1989. — 228 с.
- Лепская Е.В., Уколова Т.К., Калинина И.Б., Свириденко В.Д.** Органическое вещество озер Курильское и Паланское (Камчатка), его связь с элементами биоты // Чтения памяти В.Я. Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — Вып. 3. — С. 199–213.
- Лисицын А.П.** Маргинальные фильтры и биофильтры Мирового океана // Океанология на старте XXI века. — М. : Наука, 2008. — С. 159–224.
- Луценко Т.Н., Чернова Е.Н., Лысенко Е.В.** Органическое вещество малых озер Северо-Востока Приморья // Чтения памяти В.Я. Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2014. — Вып. 6. — С. 408–414.

**Лысенко Е.В.** Макрокомпонентный состав вод ряда озер восточного Сихотэ-Алиня // 6-я регион. школа-семинар молодых ученых, аспирантов и студентов «Территориальные исследования: цели, результаты, перспективы» : тез. докл. — Биробиджан, 2011. — С. 31–33.

**Михайлов В.Н., Горин С.Л.** Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей — эстуариев // *Вод. ресурсы*. — 2012. — Т. 39, № 3. — С. 243–257.

**Немировская И.А.** Особенности распределения углеводов в дельте Северной Двины во время половодья // *Геохимия*. — 2011. — № 8. — С. 863–874.

**Немировская И.А.** Углеводы в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки) : моногр. — М. : Науч. мир, 2004. — 328 с.

**Немировская И.А., Сивков В.В.** Особенности распределения углеводов в юго-восточной части Балтийского моря // *Океанол.* — 2012. — Т. 52, № 1. — С. 40–53.

**Патин С.А.** Нефть и экология континентального шельфа : моногр. — М. : ВНИРО, 2001. — 247 с.

**Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А. и др.** Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // *Океанол.* — 2011. — Т. 51, № 6. — С. 1020–1029.

**Романкевич Е.А., Ветров А.А., Пересыпкин В.И.** Органическое вещество Мирового океана // *Геология и геофизика*. — 2009. — Т. 50, № 4. — С. 401–411.

**Романкевич Е.А., Ветров А.А., Пересыпкин В.И.** Цикл углерода в современном океане и актуальные проблемы биогеохимии // *Океанология на старте 21-го века*. — М. : Наука, 2008. — С. 78–107.

**Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Тищенко П.П. и др.** Особенности гидрохимии эстуариев рек Артёмовки и Шкотовки (Уссурийский залив, Японское море) летом 2011 г. // *Изв. ТИНРО*. — 2012. — Т. 171. — С. 267–284.

**Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Ходоренко Н.В., Звалинский В.И.** Продукционно-деструкционные процессы в эстуариях рек Артёмовка и Шкотовка (Уссурийский залив) в летний сезон // *Вод. ресурсы*. — 2015. — Т. 42, № 3. — С. 311–321.

**Сиренко Л.А.** Проблемы евтрофирования водоемов // *Экологическая химия водной среды*. — М. : Наука, 1988. — С. 125–147.

**Столяров А.П.** Структурно-функциональная организация эстуарных экосистем Белого моря : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : МГУ, 2011. — 44 с.

**Теплинская Н.Г.** Бактерии пелагиали и бентали // *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология*. — Киев : Наук. думка, 2006. — С. 146–174.

**Трофимова В.В.** Фотосинтетические пигменты фитопланктона эстуарных пелагических экосистем Баренцева моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Мурманск, 2007. — 30 с.

**Форина Ю.А., Шестеркин В.П.** Особенности гидрохимического состава речных вод восточного макросклона Северного Сихотэ-Алиня // *География и природ. ресурсы*. — 2010. — № 3. — С. 81–87.

**Чернова Е.Н., Шулькин В.М., Лысенко Е.В. и др.** Гидрохимические и биогеохимические особенности пресных и солоноватоводных озер Восточного Сихотэ-Алиня // *Изв. ТИНРО*. — 2014. — Т. 178. — С. 157–172.

**Широколобова Т.И.** Бактериопланктонные сообщества эстуарных зон и прибрежных экосистем Баренцева моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Мурманск, 2009. — 27 с.

**Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы** : моногр. / под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2008. — 477 с.

**Almeida M.A., Cunha M.A., Alcantara F.** Seasonal change in the proportion of bacterial and phytoplankton production along a salinity gradient in a shallow estuary // *Hydrobiologia*. — 2002. — Vol. 475. — P. 251–262.

**Alvarez L.G., Jones S.E.** Factors influencing suspended sediment flux in the upper gulf of California // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2002. — Vol. 54, № 4. — P. 747–759.

**Becquevort S., Bouvier T., Lancelot C. et al.** The seasonal modulation of organic matter utilization by bacteria in the Danube-Black sea mixing zone // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2002. — Vol. 54, № 3. — P. 337–354.

**Callaway R., Grenfell S., Lonborg Ch.** Small estuaries: Ecology, environmental drivers and management challenger // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2014. — Vol. 150. — P. 193–195.

**Hessen D.O., Carroll J., Kjeldstad B. et al.** Input of organic carbon as determinant of nutrient fluxes, light climate and productivity in the Ob and Yenisey estuaries // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2010. — Vol. 88, № 1. — P. 53–62.

- Holmes R.M., Bulygina E., McClelland J.W. et al.** Seasonal and annual fluxes of nutrients and organic matter from large rivers to the Arctic Ocean and surrounding seas // *Estuaries and Coasts*. — 2011. — Vol. 1, № 34. — P. 369–382.
- Jickells T.D., Andrews J.E., Parkes D.J. et al.** Nutrient transport through estuaries: the importance of the estuarine geography // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2014. — Vol. 150. — P. 215–229.
- Kaul L.W., Froelich P.N.** Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 1984. — Vol. 48. — P. 1417–1433.
- Khemakhem H., Elloumi J., Ayadi H. et al.** The concept of ecological succession applied to phytoplankton over four consecutive years in five ponds featuring a salinity gradient // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2010. — Vol. 88, № 1. — P. 33–44.
- MacIntyre H.L., Kana T.M., Geider R.J.** The effect of water motion on short-term rates of photosynthesis by marine phytoplankton // *Trends Plant Sci.* — 2000. — Vol. 5, № 1. — P. 12–17.
- McLusky D.S., Elliott M.** The Estuarine ecosystem ecology, treats and management. — 3rd Edition. — N.Y. : Oxford Univ. Press Inc., 2004. — 214 p.
- Medvedeva L.A.** Biodiversity of aquatic algal communities in the Sikhote-Alin Biosphere Reserve (Russia) // *Cryptogamie, Algol.* — 2001. — Vol. 22, № 1. — P. 60–100.
- Muylert K., Sabbe K., Vyverman W.** Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium / The Netherlands) // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2009. — Vol. 82, № 2. — P. 335–340.
- Porter K.G., Feig Y.S.** The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* — 1980. — Vol. 25, № 5. — P. 943–948.
- Pye K., Blott S.J.** The geomorphology of British estuaries: the effects of geological controls, antecedent conditions and human activities // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2014. — Vol. 150. — P. 196–214.
- Revilla M., Ansotegui A., Iriarte A. et al.** Microplankton metabolism along a trophic gradient in a shallow temperate estuary // *Estuaries*. — 2002. — Vol. 25, № 1. — P. 6–18.
- Rice E., Stewart G.** Analysis of interdecadal trend in chlorophyll and temperature in the central basin of Long Island sound // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2013. — Vol. 128. — P. 64–75.
- Telesh I., Schubert H., Skarlato S.** Life in the salinity gradient: Discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2013. — Vol. 135. — P. 317–327.
- Wetzel R.G.** Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystem // *Bull. Mar. Sci.* — 1984. — Vol. 35. — P. 503–509.

*Поступила в редакцию 16.11.15 г.*