МИКРОБИОЛОГИЯ, 2020, том 89, № 5, с. 593–603

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАКТЕРИО- И ФИТОПЛАНКТОНА АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ И ЮЖНОГО РАЙОНА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МОРСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА

© 2020 г. С. П. Захарков[a, *], А. В. Московцева[b], Е. В. Лепская[c], Е. А. Штрайхерт[a], Р. В. Гладких[d]

[a] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия*

[b] *Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия*

[c] *Камчатский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("КамчатНИРО"), Петропавловск-Камчатский 683000 Россия*

[d] *Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия*

**e-mail: zakharkov@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 27.11.2019 г.
После доработки 26.03.2020 г.
Принята к публикации 29.04.2020 г.

Проведено исследование и сравнительный анализ продукционных характеристик бактерио- и фитопланктона в Авачинской бухте и в южном районе Дальневосточного государственного морского биосферного заповедника (ДВМБЗ) в заливе Посьета в летний период 2017 года. Бактериальная продукция в обоих водоемах в поверхностных пробах была близка и варьировала в интервале от 0.28 до 2.3 мгС/сут м^3 для Авачинской бухты и от 0.22 до 2.0 мгС/сут м^3 для ДВМБЗ, при этом численность клеток бактериопланктона была существенно выше в ДВМБЗ, достигая 2.1 млн. клеток на мл. Отмечено проявление гипоксии в понижениях рельефа обеих акваторий. Показано, что бактериальное потребление кислорода является одним из основных факторов образования гипоксии в Авачинской бухте. Первичная продукция в поверхностных пробах и в столбе воды в обоих водоемах сравнима, но в южном районе ДВМБЗ концентрация хлорофилла *a* была ниже – более чем на порядок. Такое соотношение является следствием поглощения другими организмами большей части произведенной биомассы микроводорослей в столбе воды и более высокого ассимиляционного числа, которое возрастает от высоких к низким широтам. Напротив, в Авачинской бухте отмечены как высокие уровни первичной продукции, так и высокая концентрация хлорофилла *a*, что говорит об интенсивном терригенном притоке биогенных элементов природного и антропогенного характера.

Ключевые слова: бактериопланктон, численность, продукция, фитопланктон, биомасса, первичная продукция, Авачинская бухта, Дальневосточный морской биосферный заповедник

DOI: 10.31857/S0026365620050195

В наши дни растет понимание того, что изменения климата неизбежно сказываются на состоянии морских экосистем. По всему миру ведется масштабный мониторинг климатических флуктуаций и связанной с ними деградацией морских экосистем и морских биоресурсов. Наиболее уязвимыми к изменению климата и антропогенному загрязнению являются экосистемы северных морей. Актуальным остается вопрос о том, как именно климатические флуктуации влияют на продуктивность морских бассейнов, включая и окраинные Дальневосточные моря.

Знание первичной продукции фитопланктона (ПП) необходимо для понимания функционирования пищевой цепи и изменений в морских экосистемах. Изменение климата может повлиять на показатели ПП двумя факторами: изменением кислотности и потеплением океана (Kottmeier et al., 2014). Изменение кислотности океана влияет на функционирование его экосистем и биоразнообразие водорослей, хотя эффекты в значительной степени все еще не изучены. Также не ясны последствия глобального потепления в отношении времени цветения водорослей (Kromkamp et al., 2017). Вышеперечисленные проблемы подчеркивают необходимость мониторинга продукционных характеристик водоемов для контроля и прогноза глобальных и локальных изменений в морских экосистемах. Для этой цели необходим мониторинг экспериментальных прибрежных участков, находящихся в условиях различной степени антропогенной нагрузки.

В качестве примера воздействия климатических и антропогенных факторов на состояние

экосистемы нами была выбрана Авачинская бухта, на берегу которой расположен крупный административный центр – Петропавловск-Камчатский. Измерения среднемесячной температуры морских вод в Авачинской бухте, проведенные Камчатским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды начиная с 1982 г., показали увеличение летнего прогрева приповерхностного слоя воды. Также на экологическое состояние бухты огромное влияние оказывает антропогенная деятельность (Лепская и соавт., 2014).

Обратную ситуацию можно наблюдать в южном районе Дальневосточного государственного морского биосферного заповедника (ДВМБЗ) в заливе Посьета – здесь ведется режим полного заповедования, и исключена любая хозяйственная деятельность. Наибольшее влияние на экологическое состояние вод здесь могут оказывать распреснение, взвесь и биогены, поступающие в акваторию заповедника с береговым стоком из оз. Птичье, бух. Сивучья, а также с течением из бухт Экспедиции и Рейд Паллада, где расположен порт Посьет (Стунжас и соавт., 2016). Потенциальную угрозу загрязнения вод морского заповедника несет терригенный сток р. Туманная, проходящей по территории трех государств: России, Кореи и Китая. Рост промышленности и численности населения, проживающего в бассейне реки, безусловно, оказывают влияние на химический состав речной воды и на экосистему реки в целом (Changming et al., 1995; Wei et al., 1999; Zhu et al., 1998; Wang et al., 2002; White, 2010). Однако в основном сток р. Туманная относится преобладающими течениями на юг, в результате чего ранее не было отмечено значительного влияния на состояние вод в южном районе заповедника (ЮРЗ) (Стунжас и соавт., 2016).

Известно, что бактериопланктон оказывает заметное влияние на процессы самоочищения морских водоемов (Azam, Fenchel et al., 1983). Уровень бактериальной продуктивности (БП) зависит от уровня ПП, причем наибольшая связь между этими продукционными параметрами наблюдается в первую половину года (Кудрявцева и соавт., 2012). Соотношение БП и ПП имеет ярко выраженную сезонную изменчивость и взаимосвязь (Chen et al., 2014). Основным источником субстрата для гетеротрофных бактерий в морских экосистемах является фитопланктон; также скорость роста бактериопланктона в значительной степени зависит от температуры воды. Часто БП отвечает на изменения ПП с опозданием, одновременно коррелируя с концентрацией хлорофилла *a*. Таким образом, хлорофилл отражает скорость продуцирования лабильного (усвояемого) органического вещества и трофические условия для гетеротрофных организмов. Изменение бактериальной продукции с глубиной крайне невелико (Вышкварцев, Карапетян, 1979), однако ее показатели могут возрастать с увеличением количества субстрата. Например, высокие показатели отношения БП/ПП могут быть обусловлены спадом цветения фитопланктона (Захарков и соавт., 2017).

Избыточная продуктивность фитопланктона (особенно во время цветения) приводит к образованию большого количества органического вещества, которое, оседая на дно, может вызвать гипоксию или аноксию, образовывая зоны заморов (Diaz, 2001; Стунжас и соавт., 2016). Причиной формирования аноксии ($O_2 \approx$ аналитический 0%) и гипоксии ($O_2 < 20\%$) в зоне депрессии является микробиологическое разложение фитопланктона в отсутствии регенерации кислорода через фотосинтез. Формирование гипоксии и аноксии обычно возникает в придонных водах с характерным рельефом дна (ложбины, впадины), где снижается интенсивность перемешивания и происходит накопление наносов и органического вещества.

Пространственное распределение продукционных характеристик бактерио- и фитопланктона в исследуемых районах фактически не изучалось. Некоторые измерения численности бактерий, а также первичной и бактериальной продукции проводились достаточно давно вблизи южного района Дальневосточного морского биосферного заповедника (Вышкварцев, 1979; Вышкварцев, Карапетян, 1979).

Целью работы является изучение продукционных характеристик бактерио- и фитопланктона в Авачинской бухте и в южном районе Дальневосточного морского биосферного заповедника в заливе Посьета в связи с природными и антропогенными изменениями окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Рейс НИС “Импульс” проводился в южном районе ДВМБЗ в заливе Посьета 5 сентября 2017 г. Судовые наблюдения в Авачинской бухте проводились в рейсах МРТК “Мартынов” 21.06, 22.07 и 15.08.2017 г. На рис. 1, 2 указаны станции отбора проб в Авачинской бухте и в южном районе ДВМБЗ. В пробах определяли продукцию и численность бактерий, первичную продукцию фитопланктона, концентрацию хлорофилла *a*. Получены и проанализированы профили концентрации растворенного в воде кислорода (табл. 1–4). CTD-зондирование проводили с помощью аппарата JFERinkaASTD102; определение концентрации растворенного неорганического углерода проводили с использованием метода, предложенного в работе (SPE-169758-MS, 2014). Неорганический углерод, используемый для расчета ПП и БП в Авачинской бухте, определяли в летний период в 2015 и 2017 гг. по методике, указанной выше. Для 22 пар определений была показана тесная связь между соленостью и концентрацией

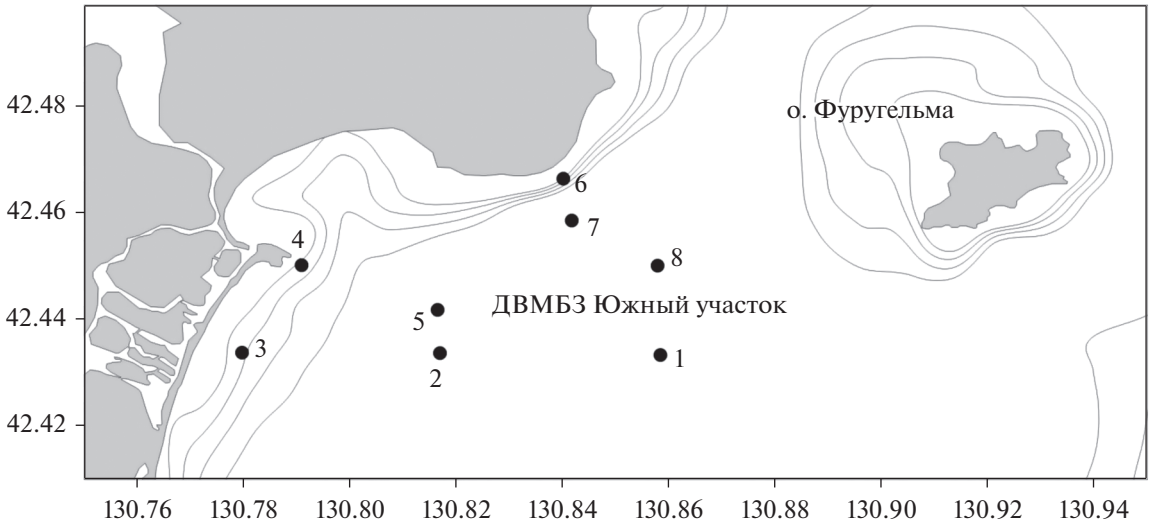

Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб в ДВМБЗ в заливе Посьета.

гидрокарбонатов. Коэффициент детерминации составил 0.87, что позволило нам в дальнейшем использовать полученную закономерность и определять растворенный неорганический углерод по солености для расчетов ПП и БП. В связи с отсутствием данных зонда 22.07.2017 г. на станции № 2, за средние значения принимались показания предыдущей и последующей съемок по солености.

Определение уровня бактериальной продукции. Определение БП проводилось с использованием радиоуглеродного скляночного метода, предложенного В.И. Романенко (1964) и доработанного Ю.И. Сорокиным (Sorokin, 1999). Метод основан на измерении с помощью изотопа ^{14}C темновой ассимиляции углекислоты (ТАУ). Методика была модифицирована и подробно изложена нами в работе (Захарков и соавт., 2017).

Пробы для определения БП разливали в склянки объемом от 0.18 до 0.5 л и выдерживали в темноте не менее 1 ч. Во все склянки вносили по 0.2 мл раствора, содержащего ^{14}C (в форме $NaHCO_3$) активностью 1–5 мкКи (ОАО “СПб “Изотоп”, Россия), контроль сразу фиксировали раствором Люголя (до слабо желтой окраски). Склянки экспонировали при имитируемых условиях, близких к естественным. Значения темновой ассимиляции $^{14}CO_2$ принимали за 8% от продукции бактериопланктона (Sorokin, 1999; Захарков и соавт., 2017). Время экспозиции составило: в южном участке ДВМБЗ – 36 ч; в Авачинской бухте – 48 ч. Разное время экспонирования проб связано с различиями температуры воды.

Определение численности бактериопланктона с использованием красителя DAPI. Численность бактериопланктона определялась модифицированным методом прямого счета. Для эпифлуоресцентных подсчетов использовали флуоресцирующую окраску 4'6-диамидино-2-фенилиндол (DAPI) (Hobbie et al., 1977). Реактив DAPI разводили стерильной водой в концентрации 0.1 мкг/мл и хранили при температуре 0°C (Williamson, Fennel, 1975; Porter, Feig, 1980). При подсчете численности под микроскопом фильтры смачивали дистиллированной водой и покрывали круглым 25-миллиметровым покровным стеклом. Для подсчета использовали универсальный микроскоп Zeiss Axio Imager A1 (“Carl Zeiss”, Германия). При возбуждении светом на длине волны 365 нм комплекс ДНК–DAPI флуоресцировал ярко-синим цветом, в то время как несвязанные с DAPI частицы, а также связанные, но не содержа-

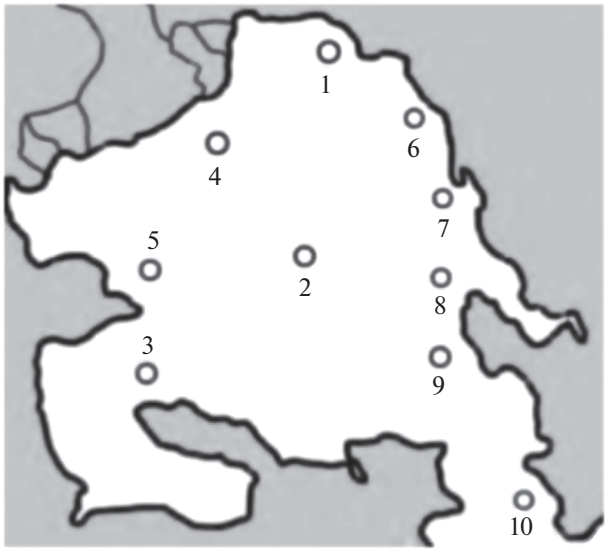

Рис. 2. Карта-схема точек отбора проб в Авачинской бухте.

Таблица 1. Продукционные характеристики бактерио- и фитопланктона в Авачинской бухте, в летний период 2017 г.

№ станции	*H*, м	DS, м			Хлорофилл *a*, мг/м^3			Ср. знач. Хл-*a*, в эвфотической зоне мг/м^3			ПП, мг С/сут м^3			ПП, г С/сут м^2			САЧ, мг С/мг Хл. сут м^3			БП, мгС/сут м^3	БП/ПП, %	Численность, клеток, $\times 10^6$ кл./мл	Бакт. потр. O_2, мг/л	ΔO_2, мг/л
		1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*3*	*3*	*3*	*1–3*	*1–3*
1	DS/2	2	3	3	18.6	–	9.4	12.5	5.9	14	320	–	118	1.1	–	2.2	17.2	–	20.9	0.71	0.6	0.6	6.5	6.2
	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.45	–	0.5	4.1	1.5
2	0.5	3	3	4	7.7	–	12	14.3	–	9.6	107	122	109	1.8	0.8	0.8	21.1	–	7.9	0.71	0.6	0.7	6.5	2.3
	1				13.8	–	11.6	–	–	–	253	115	103	–	–	–	18.3	–	8.8	–	–	–	–	4.2
	2				23.8	–	9.9	–	–	–	346	73	69	–	–	–	14.6	–	6.9	0.77	1.1	0.5	7.1	3.9
	4				13.1	–	6.4	–	–	–	173	138	81	–	–	–	13.3	–	12.6	0.73	0.9	0.4	6.7	3.8
	6				21.6	–	20.4	–	–	–	148	82	38	–	–	–	6.9	–	1.8	0.56	1.4	0.45	5.1	-0.2
	8				7.5	–	7.6	–	–	–	117	136	54	–	–	–	15.6	–	7.1	1.31	2.4	0.5	12.0	0.7
	10				11.2	–	9.4	–	–	–	78	21	107	–	–	–	6.9	–	11.3	1.05	0.9	–	9.6	1.7
	12				4.1	–	3.0	–	–	–	44	36	91	–	–	–	10.9	–	29.9	0.94	1.1	0.4	8.6	1.4
	14				3.3	–	2.2	–	–	–	40	9	31	–	–	–	12.3	–	14.3	0.65	2.1	0.3	6.0	2.1
	16				1.8	–	2.2	–	–	–	21	30	15	–	–	–	11.8	–	6.0	1.08	7.2	0.5	9.9	2.2
	18				2.2	–	1.3	–	–	–	18	28	16	–	–	–	8.2	–	12.1	–	–	0.4	–	1.8
	20				2.4	–	1.6	–	–	–	25	4	12	–	–	–	10.4	–	7.01	0.78	6.5	0.6	7.2	2.7
3	DS/2	2	3	4	18.4	7.6	1.9	14.3	7.2	9.9	183	76	88	1.1	0.7	3.3	14.5	13	32.8	1.27	1.4	0.7	11.6	4.7
	22	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.37	–	0.4	3.4	2.8
5	DS/2	2	3	4	16.3	8.4	8.0	11.4	5	14.7	316	145	247	2.9	0.9	4.3	27.7	23	28.6	0.49	0.2	0.8	4.5	0.6
	14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.38	–	0.4	3.5	1.5
6	DS/2	2	4	3	16.7	10.3	11.7	14.6	5.6	13.8	159	233	96	0.8	1.5	0.8	10.8	25.5	8.2	1.22	1.2	0.5	11.2	2.7
	21.5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.91	–	0.2	8.3	0.3
7	DS/2	2	3	3	18.7	11.5	8.3	11.8	6.6	13.2	200	213	167	0.6	0.94	2.0	11.1	18.6	20.2	–	–	–	–	–
9	DS/2	3	4	3	15.6	3.5	8.3	11.1	4.3	17.1	111	52	104	0.6	0.5	1.6	7.1	11.2	12.6	2.3	2.2	0.5	21.1	4.8
	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.59	–	0.2	5.4	1.1
10	DS/2	3	5	3	6.1	2.7	8.2	4	2.9	9.5	84	30	70	0.4	0.94	0.6	13.7	12.8	8.6	0.28	0.4	0.3	2.6	1.6
	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.22	–	0.2	11.2	2.2
Ср.	–	2.4	3.5	3.4	15.3	7.3	7.2	11.8	5.4	12.7	215	117	120	1.9	0.9	1.9	14.6	17.3	17.4	–	–	–	–	–

Примечание. *1*, *2*, *3* – июнь, июль, август соответственно; *H* (м) – глубина отбора проб, DS (м) – глубина видимости диска Секки, Хл-*a* – измеренный хлорофилл *a*; ПП – первичная продукция фитопланктона; САЧ – суточное ассимиляционное число; БП – бактериальная продукция; бакт. потр. O_2 (мг/л) – потребление кислорода бактериями в период между *1* и *3* съемками (за 55 сут).

Таблица 2. Абиотические условия в Авачинской бухте в летний период 2017 г.

№ станции	Горизонт, м			Температура, °C			Соленость, ‰			O_2, %		O_2, мг/л	
	1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*3*	*1*	*3*
1	0.5	0.5	0.5	12	16.4	16	18	7.0	8	159.2	99.9	15.2	9.3
	8	8.0	9	4	7.1	6	31.5	30.7	31.5	100.4	90.4	10.5	8.9
	16.5	15.5	18.5	3	4.0	5	31.9	31.7	32	87	73.7	9.3	7.4
2	0.5	–	0.5	12	–	17	8.1	–	13.5	111.6	103.7	11.6	9.2
	13	–	13	3	–	5	31.9	–	31.8	88.7	77.9	9.5	8
	26.5	–	26	2	–	2	32.4	–	32.2	67.7	20.9	7.4	2.2
3	0.5	0.5	0.5	11	15.1	17	10.9	11.8	14	104.2	106.4	10.8	10.1
	11	12.5	11	4	5.4	6	31.6	31.3	31.7	98.1	87.5	10.3	8.7
	22	23.0	22.5	3	3.4	5	32	31.8	32.1	83.6	59.8	9.1	6.1
4	0.5	0.5	0.5	9	15.7	17	9.4	7.5	7.7	102.6	101.7	11.1	9.4
	11	11.0	11	3	7.0	6	31.7	31.0	31.6	96.1	92.7	10.2	9.2
	22.5	22.5	23.5	2	2.6	5	32.2	32.2	32.1	72.8	80.3	7.9	8.1
5	1	1.0	1	9	14.7	17	14.7	3.8	15.1	99.1	113.9	10.6	10.2
	8	8.0	8	5	7.4	7	31.2	30.8	31.2	108.6	119	11.2	11.6
	16	15.5	15.5	3	5.5	6	31.9	31.4	31.9	90	82.4	9.6	8.3
6	0.5	0.5	0.5	11	12.2	18	11.8	22.0	12.4	106	98.6	10.8	9.3
	10	10.0	11	4	6.7	6	31.6	31.2	31.7	105.1	130.1	10.9	10.9
	21	22.0	23	3	2.7	5	32	32.1	32.2	93.3	112.3	9.9	9.6
7	0.5	0.5	0.5	13	14.4	15	12.2	16.8	19.8	129.6	98.8	12.7	9.4
	10	10.0	10	5	5.9	7	31.8	31.7	31.4	106.8	118.4	11.1	10.1
	20.5	19.5	21	3	2.7	5	32.1	32.2	32.1	89.3	105.8	9.5	9.1
8	0.5	0.5	0.5	12	14.5	16	15.9	20.3	16.3	113.9	105.2	11.1	9.3
	8	8.5	8	5	7.7	7	31.4	30.8	31.4	113.6	103.6	11.6	10.1
	17.5	17.0	18	4	4.4	5	32.1	31.7	32.1	107.9	86.1	11.3	8.6
9	0.5	0.5	0.5	12	13.1	15	16.8	23.4	16.7	121.6	104.1	11.8	9.4
	5	5.5	5	6	10.9	8	30.2	28.4	30.8	134.8	122.4	13.5	11.7
	10.5	11	10	4	7.1	6	31.6	30.9	31.6	95.2	90	10.1	8.9
10	0.5	0.5	0.5	9	12.0	13	27.5	29.6	27.9	110.5	119.8	10.6	10.5
	6	5	4	6	11.4	13	32	30.2	28.6	129.5	121.5	12.8	10.7
	12	10	7	5	7.6	12	32.2	31.8	28.8	132.2	121.4	13.5	10.8

Примечание. *1*, *2*, *3* – июнь, июль, август соответственно.

щие ДНК, флуоресцировали слабым желтым цветом. Было посчитано по 10 полей зрения для каждого слайда. Флуоресценция DAPI оставалась стабильной при возбуждении световой системой до 3 мин, поэтому для подсчета использовали микрофотографии полей зрения.

Статистическая и графическая обработка результатов исследований выполнена на персональном компьютере с использованием пакета программ “Microsoft Excel”.

Определение первичной продукции фитопланктона. Определение уровня ПП проводилось с использованием радиоуглеродной модификации скляночного метода (Винберг, 1960). Подробная методика работы с пробами описана нами ранее (Захарков и соавт., 2017).

Пробы для определения ПП фитопланктона разливали по стеклянным склянкам объемом от 0.25 до 0.5 л (по 2 светлых и 1 темной на каждой станции), вносили реактив ^{14}C ($NaHCO_3$) активностью 0.5–1 мкКи (ОАО “СПб “Изотоп”, Россия). Затем склянки затемняли пакетом для исключения светового ингибирования и опускали под воду на глубину 1 м с плавающим буем для воссоздания естественных температурных условий и соблюдения освещенности равной 1/2 от по-

Таблица 3. Продукционные характеристики бактерио- и фитопланктона на глубине 0.5 м в южном участке Дальневосточного морского биосферного заповедника в заливе Посьета, 05.09.2017 г.

№ станции	Диск Секки, м	Температура, °С	Соленость, ‰	Хл-*a*, мг/м^3	Первичная продукция, г С/сут м^3	САЧ, мг С/мг Хл сут м^3	ПП, Г С/ сут м^2	БП, Мг С/ сут м^3	БП/ ПП, %	Число клеток, ×10^6 кл./мл
1	9.5	20	32.8	0.47	154	326.4	2.9	0.42	0.3	2.1
2	9.5	20	32.8	0.33	97	298.9	1.8	1.41	1.4	2.1
3	7.9	20	28.5	0.27	88	321.7	1.4	0.39	0.4	1.8
4	8.3	21	31.3	0.42	60	142.8	1.0	1.51	0.2	2.0
5	8.5	20	28.4	0.65	77	118.1	1.3	2.01	2.6	1.8
6	8.2	21	17.4	0.41	76	185.5	1.2	0.22	0.3	1.7
7	8.6	20	21.1	0.35	85	244.4	1.5	0.53	0.6	1.75
8	9.1	21	28.1	–	389	–	–	0.32	0.1	1.9

Примечание. Хл-*a* – хлорофилл *a*; ПП – первичная продукция фитопланктона; БП – бактериальная продукция; САЧ – суточное ассимиляционное число.

верхностной освещенности при солнечной погоде; таким образом, создавались естественные температурные условия и исключалось световое ингибирование. Темновые склянки полностью затемняли и размещали на дне на глубине 2 м. Пробы экспонировали в течение половины или всего светового дня.

Расчет ПП в столбе воды проводился по формуле, предложенной Беренфельдом и Фальковски:

$$PP = 0.825 \times A_ч \times C_х \times Z_ф \times T_{эф} = \\ = 0.66 \times A_ч \times C_{хф} \times Z_ф \times T_d,$$

где $A_ч$ – среднее значение ассимиляционного числа (мг С/мг Хл в час) и $C_х$ – концентрация хлорофилла *a* в слое фотосинтеза (мг/м^3); $Z_ф$ – толщина эвфотического слоя (м); $T_{эф}$ – эффективный фотопериод (ч); $C_{хф}$ – содержание хлорофилла *a* в слое фотосинтеза (мг/м^2). Поскольку эффективный фотопериод Тэф составляет около 0.8 долготы дня T_d, то в уравнение добавляется коэффициент 0.66 (Behrenfeld, Falkowski, 1997). Соотношение соответствует предложенному ранее эмпирическому уравнению для расчета ПП в столбе воды (Behrenfeld, Falkowski, 1997). Применимость данного уравнения для расчета первичной продукции в Дальневосточных морях была показано нами ранее (Захарков и соавт., 2007, 2020).

В связи с тем, что пробы экспонировались в течение целого светового дня, были введены некоторые модификации (Захарков и соавт., 2020):

$$PP = 0.66 \times A_{сут} \times C_{хл} \times Z_ф,$$

где *PP* – первичная продукция (мг С/м^2 сут); $A_{сут}$ – среднее значение ассимиляционного числа в сутки ($A_ч \times T_д$); $C_{хл}$ – среднее значение концентрации хлорофилла *a* (мг/м^3); $Z_ф$ – глубина эвфотической зоны (диск Секки×3 или спутниковые данные).

Определение хлорофилла *a*. Концентрацию пигментов определяли стандартным спектрофотометрическим методом по формулам, предложенным в работе (Jeffrey, Humphrey, 1975). Для этого метода пробу воды объемом около литра пропускали через фильтры ФМАЦ, 0.65 мкм. Фильтры замораживали и хранили при температуре –18°С для дальнейшей обработки в лабораторных условиях на берегу. По данным спектрофотометрического метода была проведена калибровка датчиков флуоресценции хлорофилла *a* (Захарков и соавт., 2016). В случае отсутствия измерений стандартным спектрофотометрическим методом использовались показания калиброванных датчиков флуоресценции хлорофилла *a*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Продукционные характеристики фито- и бактериопланктона Авачинской бухты, июнь 2017 г. При анализе полученных данных установлено, что ПП фитопланктона в приповерхностном слое была минимальной на станции № 10, расположенной на выходе из Авачинской бухты в открытое море, и составила 84 мг С/сут м^3 (табл. 1). Максимальные значения ПП отмечены на станции № 1 (320 мг С/сут м^3) и № 5 (316 мг С/сут м^3), где большое влияние оказывает поверхностный речной сток. На этих же станциях были отмечены максимальные значения ПП водяного столба: № 1 – 1.1 г С/сут м^2; № 5 – 2.9 г С/сут м^2. Так же высокие значения

Таблица 4. Концентрация растворенного в воде кислорода по данным CTD-зонда в южном участке Дальневосточного морского биосферного заповедника в заливе Посьета 05.09.2017 г.

№ станции	Горизонт, м	Температура, °C	Соленость, ‰	O_2, %	O_2, мг/л
1	0.5	21	32.8	108.4	7.8
	15	19	33.3	106.9	7.9
	33	9	33.6	15.3	1.2
2	0.5	21	32.8	105.3	7.7
	15	18	33.3	105.2	8.1
	29.6	12	33.5	60.1	5.1
3	0.5	21	31.8	105.9	7.7
	8	19	33.2	104.7	7.9
	17.3	17	33.3	86.1	6.6
4	0.5	21	33.1	106.1	7.7
	8	20	33.2	104.0	7.8
	15.4	18	33.3	95.1	7.3
5	0.5	20	28.5	104.5	7.7
	15	18	33.3	105.4	8.1
	30	12	33.7	63.1	5.3
6	0.5	21	27.6	105.4	7.7
	13	18	33.2	102.4	7.8
	25	15	33.4	83.6	6.7
7	0.5	20	21.1	105.1	7.7
	15	20	33.2	104.7	8.1
	33.5	9	33.6	26.6	2.3
8	0.5	21	28.1	106.2	7.8
	15	19	33.2	105.5	7.9
	34.5	8	33.7	18.7	1.7

Примечание. O_2 – концентрация растворенного в морской воде кислорода.

ПП в приповерхностном слое были отмечены на станциях № 6 (159 мг С/сут м^3) и № 7 (200 мг С/сут м^3), где приток биогенных элементов обеспечивается стоками Петропавловск-Камчатского. На станции № 2 максимальная ПП отмечалась на глубинах от 1 до 8 м (253–117 мг С/сут м^3). Также на этих глубинах обнаружены максимумы концентрации хлорофилла *a* (23.8 мг/м^3 на глубине 2 м и на глубине 6 м – 21.6 мг/м^3) и дневного ассимиляционного числа (до 15.6 мг С/мг Хл на глубине 8 м). Это свидетельствует о развитии сезонного цветения фитопланктона. В июне 2017 г. в придонном слое Авачинской бухты не выявлено зон образования гипоксии или аноксии. Максимальные концентрации кислорода в большинстве случаев наблюдались в приповерхностном слое (до 15.2 мг/л на станции № 1) и постепенно снижались с глубиной (табл. 2). Также отмечен максимум концентрации растворенного в воде кислорода в придонном слое на станции № 10 (13.5 мг/л), вероятно, из-за активного перемешивания вод в проливе на выходе из Авачинской бухты.

Авачинская бухта, июль 2017 г. Минимальные значения ПП в приповерхностном слое были отмечены на станции № 3 (76 мг С/сут м^3) и № 10 (30 мг С/сут м^3); максимальные – на станциях № 6 (233 мг С/сут м^3) и № 7 (213 мг С/сут м^3). На станциях № 6 и 7, куда выходят стоки из г. Петропавловск-Камчатский, также было отмечено максимальное значение ПП водяного столба (1.5 и 1.0 г С/сут м^2 соответственно). Наивысшие значения концентрации хлорофилла *a* отмечены на тех же станциях (№ 6 – 10.3 мг/м^3 и № 7 – 11.5 мг/м^3).

Авачинская бухта, август 2017 г. Минимальные значения продукции фитопланктона отмечены на станциях № 3 (88 мг С/сут м^3) и № 10

(70 мг С/сут м^3), где сложилось наименьшее влияние стоков как антропогенного, так и естественного характера. Максимальные значения ПП отмечены на станции № 5 (247 мг С/сут м^3). На станции № 2 максимальные значения ПП отмечены в приповерхностном слое от 0 до 4 м (109 до 81 мг С/сут м^3) и на глубинах от 10 до 12 м (от 107 до 91 мг С/сут м^3). Максимум хлорофилла *a* отмечен так же в приповерхностном слое (0 м – 12 мг/м^3; 1 м – 11.6 мг/м^3) и на глубине 6 м (20.44 мг/м^3).

Максимальные значения БП на станции № 2 были отмечены на глубинах 8–12 м (1.31–0.94 мг С/сут м^3), что соответствовало максимальным значениям ПП и численности бактерий на глубине 8 м (0.5 × 10^6 кл./мл). После цветения фитопланктона клетки отмирают и медленно оседают на дно, формируя вслед за собой второй максимум развития бактериопланктона, что и было отмечено на станции № 2 на глубине 16 м (1.08 мг С/сут м^3). Также это подтверждается высоким отношением БП/ПП на глубинах 16 м (7.2%) и 20 м (6.5%).

Максимумы БП в приповерхностном слое (1.5–2 м) отмечались на станциях № 3 (1.27 мг С/сут м^3), № 6 (1.22 мг С/сут м^3), № 9 (2.3 мг С/сут м^3); это связано с более высокими показателями температуры воды и доступностью растворимых органических веществ (РОВ), выносимых стоками. По той же причине на всех станциях максимальная численность бактерий отмечена именно в приповерхностном слое, в особенности на станции № 5 (0.8 × 10^6 кл./мл), где заметное влияние оказывают стоки г. Петропавловск-Камчатский и зарегистрированы максимальные значения температуры (17°С) (табл. 2). Такие же значения температуры в приповерхностном слое, зарегистрированные на станции № 2, способствовали развитию бактерий (0.7 × 10^6 кл./мл). На станции № 10 максимум БП отмечен на глубине 7 м (1.22 мг С/сут м^3); вероятно, это связано с образованием наносов на выходе из Авачинской бухты, которые формируют большое количество субстрата для развития бактериопланктона.

Данные по концентрации растворенного в воде кислорода в августе 2017 г. представлены в табл. 2. Максимальные концентрации кислорода в пелагиали были отмечены на станциях № 5 (11.6 мг/л), № 6 (10.9 мг/л) и № 9 (11.7 мг/л), минимальные – на станции № 2 на глубине 26 м (2.2 мг/л).

Продукционные характеристики фито- и бактериопланктона в южном участке ДВМБЗ в заливе Посьета в сентябре 2017 г. Максимальные значения ПП в приповерхностном слое наблюдались на станциях № 1 (154 мг С/сут м^3) и № 8 (389 мг С/сут м^3), расположенных близ о. Фуругельма, минимальные – на станции № 4 (60 мг С/сут м^3). Максимальная концентрация хлорофилла *a* отмечена на станциях № 1 (0.47 мг/м^3), № 4 (0.42 мг/м^3), № 5 (0.45 мг/м^3) и соответствует высокой БП на станциях № 2 (1.41 мг С/сут м^3), № 4 (1.51 мг С/сут м^3), № 5 (2.01 мг С/сут м^3). Численность бактерий в приповерхностном слое на всех станциях распределялась равномерно (табл. 3).

Наблюдения, проведенные в сентябре 2017 г., показали образование зон гипоксии в придонном слое на двух станциях: № 1 (15.3%, 1.2 мг/л) и № 8 (18.7%, 1.7 мг/л), и концентрацию O_2, близкую к гипоксии, на станции № 7 (26.6%, 2.3 мг/л) (табл. 4). Максимальные концентрации – в приповерхностном и пелагическом слое – варьировали от 7.7 до 8.1 мг/л, высокая насыщаемость кислородом пелагических водных масс связана с интенсивным перемешиванием в результате волнения и активным развитием фитопланктона в эвфотической зоне. На станциях № 3, 4, 6 концентрация кислорода с глубиной распределялась равномерно. Несмотря на то, что глубина проникновения солнечных лучей простирается практически до дна, на станциях № 2 и 5 отмечены более низкие концентрации растворенного кислорода в придонном слое (5.1 и 5.3 мг/л соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

Флуктуации первичной продукции в Авачинской бухте в летний период. Необходимо отметить, что во все время с июня по август (табл. 2) в приповерхностном слое Авачинской бухты отмечалась крайне низкая соленость, что говорит о значительном влиянии поверхностного стока (реки Авача и Паратунка), и в меньшей степени антропогенного стока (г. Петропавловск-Камчатский, пос. Рыбачий и т.д.), на экологическое состояние акватории.

Низкие показатели суточного ассимиляционного числа (САЧ) наблюдались в Авачинской бухте все время исследований (табл. 1), что является показателем высокой мутности в водоеме, где продукция фитопланктона не ограничена наличием биогенных элементов, а лимитируется средней температурой в эвфотической зоне и доступностью света. Высокая мутность водоема также подтверждается низкими значениями показателя диска Секки.

Для анализа вклада БП в распределение кислорода было рассмотрено его бактериальное потребление в промежутке между 1 и 3 съемками (всего за 54 дня), в предположении, что 1 мг потребленного кислорода соответствует 6 мкг ассимиляции CO_2 (Романенко, 1965), и что значения БП в этот период не изменялись. Также на горизонтах, где определялась БП, была посчитана разница (ΔO_2) между концентрацией кислорода 21.06 и 15.08.2017 г. (табл. 1). Как показано в табл. 1, бактериальное потребление кислорода значи-

тельно превосходит разницу в концентрации O_2. Очевидно, фитопланктон вносит основной вклад в поставку кислорода в эвфотической зоне, в то время как более низкие горизонты насыщаются кислородом за счет активной гидродинамики вод Авачинской бухты (Потапов 2014).

В июне отмечен высокий уровень ПП и хлорофилла *a* в приповерхностном слое, что говорит о протекающем в это время цветении фитопланктона. Со временем, в июле и августе, мы наблюдали смещение максимумов ПП и хлорофилла *a* на глубину, что свидетельствует об окончании цветения и оседании клеток микроводорослей. Этим обусловлено также смещение максимальных концентраций растворенного в воде кислорода, продуцируемого фитопланктоном, на большинстве станций.

Известно, что фитопланктон является основным субстратом для развития бактериопланктона. Так, одновременно с оседающими клетками микроводорослей, в августе мы наблюдали интенсивное развитие бактериальной продукции и численности на тех же глубинах: 8–10 м. Также наблюдался скачок уровня бактериальной продукции на глубинах 16–20 м, куда уже опустилось большое количество автохтонной органики. В августе в центральной части Авачинской бухты зарегистрирован случай гипоксии на второй станции на глубине 26.5 м (табл. 2, 20.9%, 2.2 мг/л). Для Авачинской бухты характерна высокая мутность, вызванная поступлением большого количества терригенного вещества, и, как следствие, небольшая глубина проникновения солнечного света (эвфотический слой ≈ 11 м). Также необходимо принять во внимание цветение фитопланктона, которое наблюдалось в июне. Учитывая все факторы, можно предположить, что гипоксия в центральной части бухты вызвана накоплением большого количества автохтонного и аллохтонного органического вещества. Таким образом, становление гипоксийных условий на дне в центральной части бухты было вызвано большим количеством осевшего фитопланктона, а также оседающими терригенными взвесями.

Продукционные характеристики фито- и бактериопланктона в южном участке Дальневосточного морского биосферного заповедника в заливе Посьета в сентябре 2017 г. Проведенные ранее исследования в заливе Посьета выявили 3 пика интенсивности вегетации фитопланктона – июнь, сентябрь, декабрь (Вышкварцев, Карапетян, 1979; Коновалова, 1979). В нашем случае работы проводились в сентябре и, соответственно, совпали с пиком цветения фитопланктона – на всех станциях наблюдалась достаточно высокая продуктивность в столбе воды: максимум на станции № 1 (табл. 3 – 2.9 г С/сут м^2). Отмечено, что популяция фитопланктона в районе исследований имеет высокую первичную продукцию, но низкую концентрацию хлорофилла *a*. Такое соотношение является следствием поглощения другими организмами большей части произведенной биомассы микроводорослей в столбе воды.

В августе 2013 года в ДВМБЗ в области депрессии дна близ о. Фуругельма был исследован случай аноксии и гипоксии придонных вод (Стунжас и соавт., 2016). Было определено, что аноксия в понижениях рельефа вызвана микробиологическим разложением осевших на дно диатомей и аномальным обилием атмосферных осадков (Стунжас и соавт., 2016). В нашем исследовании, проведенном в сентябре 2017 г., также было зафиксировано образование зон гипоксии на двух станциях (табл. 4). Несмотря на отсутствие данных о распределении фито-, бактерио- и зоопланктона с глубиной, мы можем предположить, что прежде всего это связано с более низкой эффективностью фотосинтеза на глубине и активным "выеданием" фитопланктона зоопланктоном и другими бентосными организмами, а также интенсивным протеканием на дне окислительно-восстановительных реакций, на которые расходуется кислород. Исходя из полученных данных, гипоксия в понижениях рельефа дна в ЮРЗ, вероятно, является сезонным явлением.

Полученные данные о численности бактериопланктона в различных точках залива Посьета, в целом, сопоставимы с данными аналогичных исследований, проведенных ранее. В работе Вышкварцева (1979), в бухте Рейд Паллады, наиболее близкой к нашему району исследований, в сентябре отмечалась численность микрофлоры – 1.38 × × 10^6 кл./мл (усредненные данные за 4 года – с 1968 по 1971 г.). В нашем исследовании численность варьировала от 1.7 × 10^6 до 2.1 × 10^6 кл./мл. Бактериальная продукция в бухте Рейд Паллада не зависела от численности бактерий, как ранее в своем исследовании отмечал Вышкварцев. Аналогичное явление было замечено нами. Зависимость между численностью и бактериальной продукцией так же не наблюдалась, коэффициент детерминации для наших исследований был равен 0.068 для 8 станций в нашей работе. При этом величины бактериальной продукции между мелководными бухтами залива Посьет и нашими районами исследований сильно различались. Продукция в нашем исследовании варьировала от 0.22 до 2.01 мг С/сут м^3 (табл. 3). В работе 1979 года отмечается величина бактериальной продукции равная 30–75 мг С/сут м^3. Такой разброс значений связан с тем, что мелководные бухты залива Посьет отличает высокая плотность макрофитов, которая приводит к образованию осадков, которые при прогреве образуют большое количество органических веществ (Вышкварцев, 1979).

Сравнение продукционных характеристик Авачинской бухты и южного участка Дальневосточного морского биосферного заповедника в заливе Посьета. При сравнении продукционных характери-

стик акваторий необходимо отметить, что залив Посьета и Авачинская бухта находятся в разных климатических зонах и испытывают различную степень антропогенной нагрузки. Залив Посьета расположен в более теплой климатической зоне, поэтому здесь, даже в сентябре, температура воды выше, чем в Авачинской бухте в июле–августе. В южном районе Дальневосточного морского биосферного заповедника, где проводились работы, меньшее влияние оказывал речной сток, поэтому соленость в приповерхностном слое была выше, а глубина эвфотической зоны намного больше, в связи с меньшей замутненностью морских вод.

Первичная продукция и суточное ассимиляционное число в южном районе заповедника были выше, однако концентрация хлорофилла *a* была ниже, чем в Авачинской бухте. Это говорит о протекании сезонного цветения в сентябре в ЮРЗ, при котором большая часть биомассы фитопланктона поглощалась другими организмами. Напротив, в августе в Авачинской бухте цветение уже прошло, это подтверждается углублением максимумов ПП и хлорофилла *a* и развитием на этих глубинах бактериопланктона. Более теплые температуры воды в ЮРЗ дают возможность роста численности бактерий, которая в Авачинской бухте была ниже, несмотря на обильное поступление органических веществ.

Снижение концентрации растворенного в воде кислорода в изученных акваториях наблюдается к концу лета – началу осени, когда складываются особые условия повышенной стратификации, уменьшенного водообмена и интенсивной бактериопродуктивности. При близких значениях ПП фитопланктона в исследованных акваториях, суточное ассимиляционное число в заливе Посьет в среднем на порядок превосходит этот параметр в Авачинской бухте.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета, номера гос. регистрации № АААА-А17-117030110038-5 и АААА-А17-117030110033-0.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В статье не содержится результатов исследований, выполненных кем-либо из авторов, с участием людей или животных как объектов исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН СССР, 1960. 329 с. *Вышкварцев Д.И.* Исследования бактериопланктона мелководных бухт залива Посьета (Японское море) // Микробиология. 1979. Т. 48. № 4. С. 745–753.

Вышкварцев Д.И., Карапетян Т.Ш. Сезонная динамика первичной продукции в мелководных бухтах залива Посьета (Японское море) // Биология моря. 1979. Т. 2. С. 28–33.

Захарков С.П., Селина М.С., Ванин Н.С., Штрайхерт Е.А., Бибоу Н. Продукционные характеристики фитопланктона и гидрологические условия западной части Охотского моря весной 1999 и 2000 гг. по судовым и спутниковым данным // Океанология. 2007. Т. 47. С. 559–570.

Zakharkov S.P., Selina M.S., Vanin N.S., Shtraikhert E.A., Biebov N. Phytoplankton characteristics and hydrological conditions in the western part of the Sea of Okhotsk in the spring of 1999 and 2000 based on expeditionary and satellite data // Oceanology. 2007. V. 47. P. 519–530.

Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Ши С. Определение концентрации хлорофилла “a” в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров // Океанология. 2016. Т. 56. С. 482–490.

Zakharkov S.P., Shtraikhert E.A., Shambarova Y.V., Gordeichuk T.N., Shi X. Measuring chlorophyll *a* concentration in the Sea of Japan using probe and flow fluorimeters // Oceanology. 2016. V. 56. P. 444–451.

Захарков С.П., Владимиров А.С., Штрайхерт Е.А., Ши С., Гладких Р.В., Бузолёва Л.С. Продукционные характеристики бактерий и фитопланктона в весенне-летний период в Охотском и Беринговом морях // Микробиология. 2017. Т. 86. С. 364–372.

Zakharkov S.P., Vladimirov A.S., Shtraikhert E.A., Shi X., Gladkich R.V., Buzoleva L.S. Production characteristics of bacteria and phytoplankton in the Sea of Okhotsk and Bering Sea during spring–summer // Microbiology (Moscow). 2017. V. 68. P. 387–394.

Захарков С.П., Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Штрайхерт Е.А., Гордейчук Т.Н. Первичная продукция Авачинской бухты летом 2017 года // Вестник ДВО. 2020. № 1. С. 83–89.

Коновалова Г.В. Видовой состав и численность фитопланктона залива Посьета (Японское море). Исследование пелагических и донных организмов дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 5–16.

Кудрявцева Е.А., Саввичев А.С., Александров С.В., Канапацкий Т.А., Пименов Н.В. Бактериопланктон Гданьского бассейна Балтийского моря // Микробиология. 2012. Т. 81. С. 377–377.

Kudryavtseva E.A., Savvichev A.S., Kanapatskii T.A., Pimenov N.V., Aleksandrov S.V. Bacterioplankton of the Gdansk Basin, Baltic Sea // Microbiology (Moscow). 2012. V. 81. P. 348–359.

Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В., Устименко Е.А., Сергеенко Н.В., Виноградова Д.С., Свириденко В.Д., Походина М.А., Щеголькова В.А., Максименков В.В., Полякова А.А., Галямов Р.С., Горин С.Л., Коваль М.В. Исторический обзор исследований и основные результатов комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 34. С. 5–21.

Потапов В.В. Гидрологическая характеристика Авачинской губы // Фундаментальные исследования. Биологические науки. 2014. № 9. С. 2227–2231.

Романенко В.И. Гетеротрофная ассимиляция CO_2 бактериальной флорой воды // Микробиология. 1964. Т. 33. № 4. С. 679–683.

Романенко В.И. Соотношение между потреблением кислорода и углекислоты у гетеротрофных бактерий при росте на пептоне // Микробиология. 1965. Т. 34. № 3. С. 397.
Стунжас П.А., Тищенко П.Я., Ивин В.В., Барабанщиков Ю.А., Волкова Т.И., Вышкварцев Д.И., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Ходоренко Н.Д., Швецова М.Г., Головченко Ф.М. Первый случай аноксии в водах Дальневосточного морского заповедника 2016 г. // Докл. АН. 2016. Т. 467. № 2. С. 218–221.
Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray J.S., Meyer-Reil L.A., Thingstad F. The ecological role of water column microbes in the sea // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1983. V. 10. P. 257–263.
Behrenfeld M.J., Falkowski P.G. A consumer's guide to phytoplankton primary production models // Limnol. Oceanogr. 1997. V. 42. P. 1479–1491.
Changming Ye., Hai Y., Mei D. Eco-environmental problems and protection in Tumen River development // J. Environ. Sci. 1995. V. 7. P. 317–324.
Chen B., Huang B., Xie Y., Guo C., Song S., Li H., Liu H. The bacterial abundance and production in the East China Sea: seasonal variations and relationships with the phytoplankton biomass and production // Acta Oceanol. Sin. 2014. V. 33. № 9. P. 166–177.
Diaz R. J. Overview of hypoxia around the world // J. Environ. Qual. 2001. V. 30. P. 275–281.
Hobbie J.E., Daley R., Jasper S. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. 1977. V. 33. P. 1225–1228.
Kottmeier D., Rokitta S., Tortell P., Rost B. Strong shift from HCO_3^- to CO_2 uptake in *Emiliania huxleyi* with acidification: new approach unravels acclimation versus short-term pH effects // Photosynth. Res. 2014. V. 121. P. 265–275.
Kromkamp J., Capuzzo E., Philippart C.J.M. Measuring phytoplankton primary production: review of existing methodologies and suggestions for a common approach. EcApRHA Deliverable WP 3.2. 2017. 25 p. Publication Number: EcApRHA 3.2/2017
Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a, b,* c_1 and c_2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz. 1975. V. 167. P. 191–194.
Porter K.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // Limnol. Oceanogr.1980. V. 25. P. 943–948.
Sorokin Yu.I. Radioisotopic Methods in Hydrobiology. Heidelberg: Springer, 1999. 321 p.
SPE-169758-MS Field Method for Determination of Bicarbonate Alkalinity // Proceedings of International Oilfield Scale Conference and Exibition held in Aberdeen, Scotland, UK, 14–15 May 2014. P. 1–10. https://doi.org/10.2118/169758-MS
Wang S., Wang D., Yang X. Urbanization and its impacts on water environment in Tumen River basin // Chin. Geograph. Sci. 2002. V. 12. P. 273–281.
Wei T., Muqing Y., Wang G. Pollution trend in the Tumen River and its influence or regional development // Chin. Geograph. Sci. 1999. V. 9. P. 146–150.
White E. Tumen River: The Greater Tumen Initiative (GTI). Report, 2010.
Williamson D.K., Fennell D.J. The use of fluorescent DNA-binding agent for detecting and separating yeast mitochondrial DNA // Methods Cell Biol. 1975. V. 12. P. 335–354.
Zhu Ya., Li J., Lu Xu. A study on quality of aquatic environment in Tumen River area // Chin. Geograph. Sci. 1998. V. 8. P. 126–135.

Production Characteristics of Bacterio- and Phytoplankton of the Avacha Bay and the Southern region of the Far Eastern State Marine Biosphere Reserve in the Summer and Autumn of 2017

S. P. Zakharkov[1, *], A. V. Moskovtseva[2], E. V. Lepskaya[3], E. A. Shtraikhert[1], and R. V. Gladkikh[4]

[1]*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041 Russia*

[2]*Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041 Russia*

[3]*Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk Kamchatskii, 683000 Russia*

[4]*Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041 Russia*

**e-mail: zakharkov@poi.dvo.ru*

Received November 27, 2019; revised March 26, 2020; accepted May 29, 2020

A study and comparative analysis of production characteristics of bacterio- and phytoplankton in Avacha Bay and in the southern region of the Far Eastern State Marine Biosphere Reserve (FEMBR) in Posyet Bay was carried out in summer, 2017. Bacterial production in the surface samples from these basins was similar, varying from 0.28 to 2.3 mg C /(day m^3) for Avacha Bay and from 0.22 to 2.0 mg C /(day m^3) for FEMBR, while the number of bacterioplankton cells was significantly higher at the FEMBR site, reaching 2.1×10^6 cells/mL. Evidence of hypoxia in the relief depressions of both water areas was noted. Bacterial oxygen consumption was found to be one of the main factors in development of hypoxia in Avacha Bay. Primary production in the surface samples and in the water column in both basins was comparable, but the concentration of chlorophyll *a* in the FEMBR southern region was more than an order of magnitude lower. This ratio resulted from absorption by other organisms of most of the produced microalgae biomass in the water column and a higher assimilation number, which increases from high to low latitudes. On the contrary, in Avacha Bay both high levels of primary production and a high concentration of chlorophyll *a* were noted, which indicated an intensive terrigenous influx of biogenic elements of a natural and anthropogenic nature.

Keywords: bacterioplankton, abundance, production, phytoplankton, biomass, primary production, Avacha Bay, Far Eastern State Marine Biosphere Reserve