

УДК 556.555.6:581.132.1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА *A* В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАЛИВА АНИВА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

© 2019 г. Т. Г. Коренева^{1, *}, Л. Е. Сигарева^{2, **}

¹Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск 693023, Россия

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН), Борок 152742, Россия

*e-mail: t.koreneva@sakhniro.ru;

**e-mail: sigareva@ibiw.yaroslavl.ru

Поступила в редакцию 19.09.2018 г.

После доработки 29.11.2018 г.

Принята к публикации 29.11.2018 г.

Приведены первые данные о содержании растительных пигментов в верхнем слое донных отложений зал. Анива (Охотское море), расположенного в районе умеренно-муссонного климата. Установлена положительная зависимость между концентрацией хлорофилла *a* в осадках и его суммарным содержанием в толще воды, отражающая доминирующую роль фитопланктона в формировании осадочного комплекса пигментов. Показано, что значительная изменчивость пространственного распределения пигментов в заливе обусловлена гидролого-гидрохимическими параметрами и свойствами донных отложений. Содержание в осадках хлорофилла *a* с феопигментами характеризовалось величиной олиготрофной категории и в среднем составляло 6.5 ± 0.7 мкг/г сухого осадка или 0.47 ± 0.06 мкг/г органического вещества.

Ключевые слова: растительные пигменты, донные отложения, зал. Анива

DOI: 10.1134/S0134347519050061

Закономерная связь между содержанием хлорофилла *a* в фитопланктоне и его продуктивностью позволяет использовать основной пигмент фотосинтетического аппарата микроводорослей в качестве маркера продуктивности морских и пресноводных экосистем (Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977; Bianchi et al., 1997; Carstensen, Henriksen, 2009; Sigareva et al., 2013; Мордасова, 2014; Krajewska et al., 2017). Пигменты поступают в донные отложения (ДО) из водной толщи при седиментации взвешенных автохтонных и аллохтонных органических веществ (ОВ). Содержание сохранившихся в осадках пигментов связано с биотическими и абиотическими факторами, влияющими на величину первичной продукции, поэтому характеристики пигментов используются для оценки экологического состояния водоемов, многолетней динамики биомассы и состава фитопланктона (Bianchi et al., 2002; Morata, Renaud, 2008; Reuss et al., 2010; Sigareva, Timofeeva, 2011, 2014; Szymczak-Żyła et al., 2011).

Зал. Анива (Охотское море) — один из наиболее продуктивных районов южного Сахалина. Строительство в прибрежной зоне завода по сжижению природного газа и его запуск в 2009 г. создали

риск негативного влияния на ценную рыбопромысловую акваторию. В условиях антропогенного воздействия актуально изучение динамики состояния компонентов экосистемы залива на базе доступных экспрессных показателей, к которым относятся характеристики пигментов. В зал. Анива большая часть исследований, посвященных растительным пигментам, выполнена на фитопланктоне (Гаврина и др., 2005; Пропп, Гаврина, 2005; Коренева, Латковская, 2013; Коренева и др., 2014). Осадочные пигменты, имеющие особое значение для характеристики продукционных свойств бентали, практически не изучены.

Цель настоящей работы — оценить содержание растительных пигментов в донных отложениях зал. Анива и выявить факторы, влияющие на их распределение. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать пространственное распределение седиментированных растительных пигментов в связи с физико-химическими свойствами донных отложений (гранулометрический состав, влажность, содержание органического вещества) и характеристиками водных масс (глубина, температура, рН, растворенный кислород).

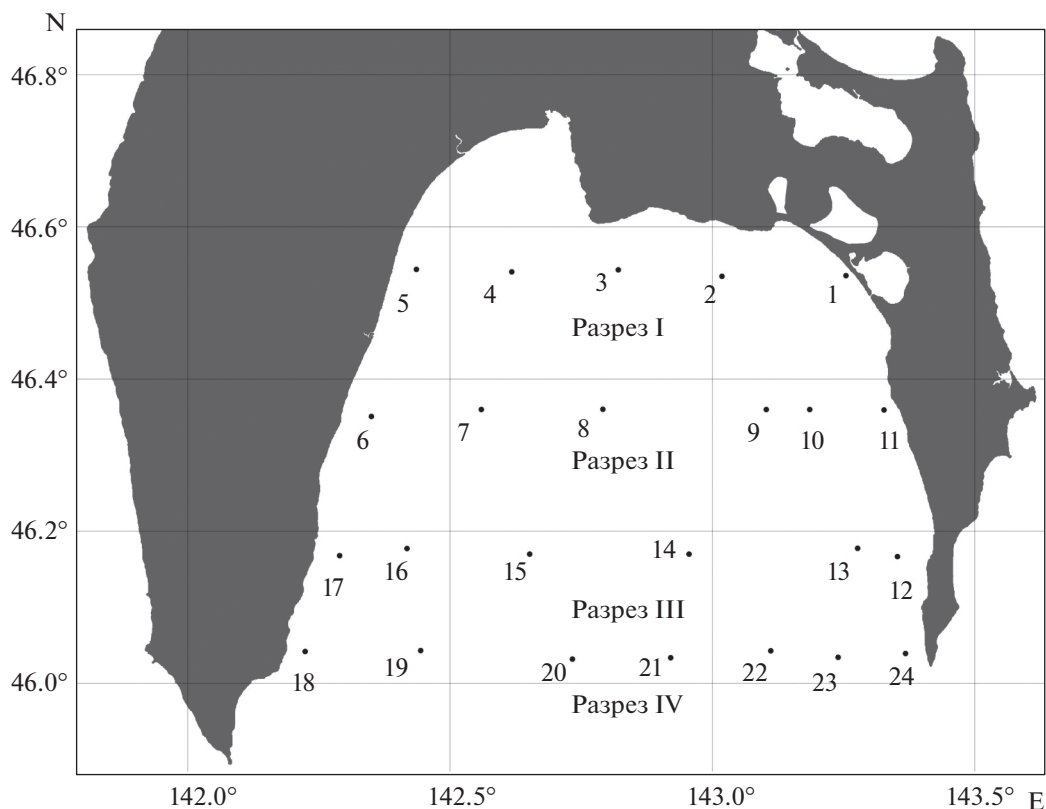


Рис. 1. Карта-схема разрезов и станций отбора проб в зал. Анива Охотского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Зал. Анива расположен в южной части о-ва Сахалин между мысами Крильон ($45^{\circ}54' N$, $142^{\circ}05' E$) и Анива ($46^{\circ}01' N$, $142^{\circ}25' E$). Его площадь составляет 5809 км^2 , объем вод — 306.2 км^3 (Леонов, Пищальник, 2012), осевая протяженность — от 80 до 110 км, протяженность береговой линии — около 270 км. Средняя глубина залива составляет 63 м; наименьшие глубины (10–40 м) характерны для северной части залива, наибольшие (100–110 м) — для центральной (Лоция, 2003). Рельеф дна мало изменчив. Климат в районе залива умеренно-муссонный с активной циклонической деятельностью и с большим количеством осадков (около 800 мм в год). Залив участвует в водообмене между Японским и Охотским морями. В зависимости от распространения ветви течения Соя прозрачность воды в заливе может изменяться от 2 м в мае до 18 м в июле.

Материал собирали с борта научно-исследовательского судна “Дмитрий Песков” в рамках комплексных экспедиций 25–26 мая в 2005 г. и 29 октября — 1 ноября в 2013 г. на четырех стандартных океанографических разрезах (рис. 1, табл. 1), ориентированных в широтном направлении (Пищальник, Климов, 1991).

На каждой станции отбирали пробы морской воды на стандартных глубинах (0, 10, 20, 30, 50, 75 м, дно), используя батометрическую секцию Rosette; зондом ICTD № 1356 фирмы “FSI” измеряли температуру и соленость. Значение pH определяли с помощью портативного pH-метра-иономера MA130 фирмы “Mettler Toledo”; процент насыщения воды растворенным кислородом рассчитывали по таблицам Грина–Кэррита после измерения его концентрации методом Винклера (Объемная концентрация..., 2010).

Донные осадки отбирали дночерпателем типа Ван–Вина (материал — нержавеющая сталь, объем ковша 30 л, площадь захвата 0.2 м^2). После удаления воды пробы верхнего 5-сантиметрового слоя отложений, усредненные методом квартования, упаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили не более месяца при температуре -20°C . Затем пробы размораживали, гомогенизировали в течение 1 мин и анализировали в двух повторностях. Навески помещали в пробирки с притертой пробкой, добавляли 10 мл 90% ацетона, тщательно перемешивали стеклянной палочкой и помещали в холодильник на сутки. Взвесь осаждали на центрифуге ОПН-ВУХЛ 4.2 при 8 тыс. об./мин в течение 15 мин. Для полноты экстракции проводили повторное извлечение пигментов, выдержи-

Таблица 1. Характеристика станций (1–24) отбора проб донных отложений в зал. Анива

Разрез	Станция	Глубина, м	Содержание растворенного кислорода у дна, % насыщения		Тип донных отложений	
			2005 г.	2013 г.	2005 г.	2013 г.
I	1	16	–	98.6	–	2
	2	41	–	97.7	–	2
	3	35	–	98.1	–	3
	4	40	84.4	98.3	2	1
	5	24	96.2	99.4	1	1
II	6	16	–	98.2	–	2
	7	48	–	96.7	–	2
	8	62	–	70.3	–	1
	9	71	80.7	73.4	3	1
	10	65	–	82.2	–	1
	11	33	93.3	97.1	2	2
III	12	60	87.9	94.1	2	1
	13	80	–	–	–	–
	14	84	84.1	65.9	3	1
	15	71	–	76.2	–	3
	16	56	–	97.7	–	4
	17	28	95.8	96.3	5	3
IV	18	28	92.8	97.0	5	3
	19	77	–	79.5	–	1
	20	87	–	76.5	–	2
	21	97	77.3	71.4	1	1
	22	101	–	61.1	–	2
	23	97	87.6	–	2	–
	24	72	87.9	80.5	3	2

Примечание. Донные отложения: 1 – алевриты и пелиты, 2 – алевриты и пелиты с примесью песка, 3 – илестый песок, 4 – галечник и гравий с илестым наполнителем, 5 – галечник и гравий; “–” – данные отсутствуют.

вая осадок в течение 1 ч в свежей порции растворителя. Оптическую плотность ацетоновых экстрактов (до и после подкисления) измеряли на спектрофотометре UV-3600 фирмы “Shimadzu” на длинах волн 665 и 750 нм. Концентрации хлорофилла *a* (Хл + Ф) и феофитина *a* (Ф) в пробах вычисляли по формулам Лоренца (Lorenzen, 1967). Содержание пигментов рассчитывали в микрограммах на 1 г сухого осадка и в миллиграммах на 1 г органического вещества (Сигарева, 2012).

Влажность ДО оценивали по разнице между массами проб до и после их высушивания при температуре 105°C. Содержание ОВ определяли фотометрическим методом (ГОСТ 26213-91, 1991). Перед анализом грунт промывали дистиллированной водой, чтобы доля хлоридов не превышала 0.6%. Гранулометрический состав определяли ситовым и ареометрическим методами

(ГОСТ 12536-2014, 2015). Тип ДО оценивали, учитывая размеры фракций: от 1 до >10 мм – галечник и гравий, от 1 до 0.1 мм – пески, от 0.1 до < 0.005 мм – алевриты и пелиты (ГОСТ 25100-2011, 2013).

Трофический статус бентали залива определяли по концентрации Хл + Ф в расчете на 1 г сухого осадка: <13 мкг/г – олиготрофный; 13–60 – мезотрофный; 60–120 – эвтрофный; >120 – гипертрофный (Möller, Scharf, 1986). Для статистического анализа и интерпретации данных применяли пакеты прикладных программ Excel, Statistica и формулы (Лакин, 1990; Ефимов, Ковалева, 2008; Statsoft, Inc., 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Абиотические условия в периоды съемок весной 2005 г. и осенью 2013 г. различались, что по-

Таблица 2. Абиотические условия в зал. Анива

Показатель	2005 г.		2013 г.	
	у дна	в толще воды	у дна	в толще воды
Температура, °С	$\frac{-1.6-0.8}{-0.9 \pm 0.3}$	$\frac{-1.0-4.3}{1.4 \pm 0.3}$	$\frac{0.1-9.1}{4.9 \pm 0.8}$	$\frac{0.1-9.6}{7.6 \pm 0.2}$
Соленость, ‰	$\frac{32.2-33.0}{32.7 \pm 0.1}$	$\frac{30.6-32.7}{31.9 \pm 0.1}$	$\frac{30.3-33.0}{31.5 \pm 0.2}$	$\frac{30.2-32.9}{31.2 \pm 0.1}$
pH	$\frac{7.46-7.93}{7.63 \pm 0.05}$	$\frac{7.33-8.09}{7.82 \pm 0.03}$	$\frac{7.63-8.14}{7.95 \pm 0.02}$	$\frac{7.91-8.15}{8.08 \pm 0.01}$
Растворенный кислород, мг/дм ³	$\frac{9.28-12.03}{10.35 \pm 0.25}$	$\frac{9.96-12.47}{11.17 \pm 0.12}$	$\frac{7.13-9.55}{9.05 \pm 0.16}$	$\frac{8.90-12.37}{9.54 \pm 0.05}$
Растворенный кислород, % насыщения	$\frac{77.3-96.2}{88.0 \pm 1.8}$	$\frac{85.4-113.1}{97.6 \pm 1.3}$	$\frac{61.1-99.4}{91.8 \pm 3.8}$	$\frac{79.2-125.8}{97.8 \pm 0.6}$

Примечание. Здесь и в табл. 3: в числителе – пределы, в знаменателе – среднее с ошибкой.

служило причиной неравномерного временного распределения растительных пигментов по дну зал. Анива. Весной 2005 г. в водной толще отмечены более высокие по сравнению с таковыми осенью 2013 г. значения солености и концентрации кислорода, а также пониженная до отрицательных значений температура (табл. 2). Содержание кислорода на поверхности и у дна на глубоководных станциях практически повсеместно не достигало насыщения (77–96%). Осенью наличие температурного скачка в слое 6–15 м обеспечило наибольшую продуктивность микроводорослей в подповерхностном горизонте (10 м). Это послужило причиной кислородной стратификации – повышения концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое (101–126% насыщения) и ее уменьшения (61–81% насыщения) у дна на глубоководных станциях 20–24.

Структура грунтового комплекса – один из факторов, влияющих на распределение пигментов ДО. В зал. Анива тип грунта различался в разные годы и на разных станциях. По сравнению с осенью 2005 г., весной 2013 г. в глубоководной части водоема заметно увеличилась процентная доля тонких фракций, в мелководной северной прибрежной части тип грунта не изменился и был представлен преимущественно песчано-алевритовыми илами. Весной 2013 г. в южной открытой части (станции 21, 23, 24) и в восточном побережье зал. Анива (станции 11, 12) доминировали алевриты и пелиты с примесью песка, в центральной части (станции 9 и 14) и в западном побережье (станции 17 и 18) преобладали песок и гравий (табл. 1). Осадки в центральной (станции 8–10, 14, 15), южной глубоководной (станции 19–24) и восточной прибрежной (станции 11, 12) частях залива были представлены алевритами и пелитами с примесью

песка, а в западной прибрежной части (станции 16–18) – галечником и гравием с илом.

Концентрации растительных пигментов распределялись в соответствии с количественными характеристиками донных отложений. Так, при росте процентного содержания тонкодисперсных частиц в структуре ДО наблюдалось увеличение естественной влажности осадка и концентрации ОВ (рис. 2а, б). Алевритовым и пелитовым илам с высокой для залива влажностью и с максимальным содержанием ОВ соответствовали повышенные концентрации Хл + Ф и Ф (рис. 2в); пескам и крупнообломочным грунтам с низкой влажностью и с минимальным содержанием ОВ – пониженные концентрации Хл + Ф и Ф. Феопигменты составляли основную долю (78–87%) общего содержания растительных пигментов (табл. 3). Осенью вклад Ф был выше, чем в весенний период, что соответствует представлениям о более интенсивной деградации пигментов по сравнению с их синтезом в конце вегетационного сезона. Анализ данных по критерию Стьюдента свидетельствовал о достоверном различии средних значений Хл + Ф и Ф в донных осадках залива весной 2005 г. и осенью 2013 г. (уровень значимости $p < 0.01$).

Концентрации Хл + Ф в ОВ донных отложений, как и содержание Хл + Ф в расчете на 1 г сухого осадка, в целом по заливу увеличивались при увеличении доли тонкодисперсных частиц в грунтах (рис. 3). В оба периода наблюдений содержание мелких гранулометрических фракций в составе ДО снижалось по направлению от северной прибрежной части (разрез I) к середине залива (разрезы II и III) и несколько увеличивалось в его южной открытой части (разрез IV) (рис. 4а, б). Изменчивость концентрации пигментов на разрезах в среднем совпадала с пространственной

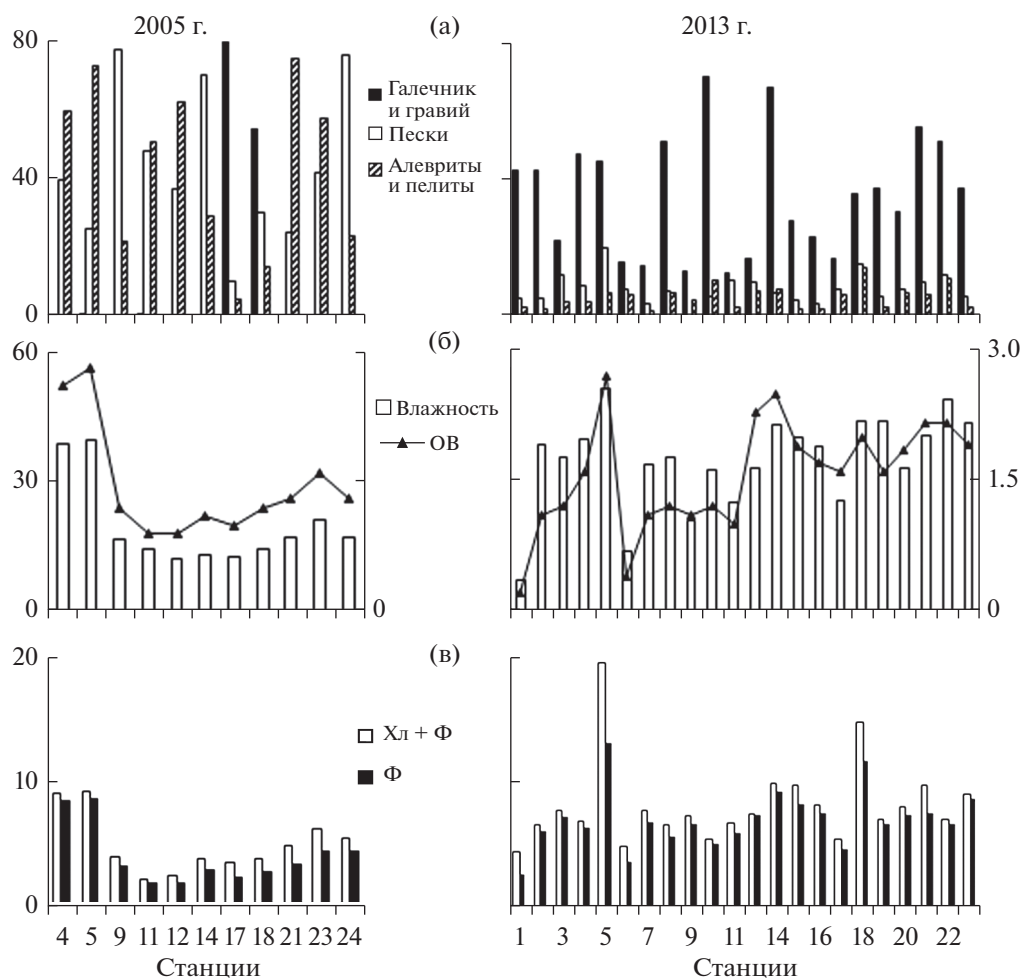


Рис. 2. Содержание гранулометрических фракций (а), органического вещества и влажности (б), растительных пигментов (в) в донных отложениях зал. Анива на разных станциях. По оси абсцисс – номера станций; по оси ординат: а – содержание размерных фракций, % сухого осадка; б – влажность (слева – процент воды в сырой массе) и содержание органического вещества (справа – процент сухого осадка); в – концентрация пигментов, мкг/г сухого осадка. Условные обозначения: ОВ – органическое вещество, Хл – хлорофилл *a*, Ф – феофитин *a*.

динамикой гранулометрического состава осадков (рис. 4в, г, д). Так, содержание Хл + Ф в ДО и в ОВ на станциях северного и южного разрезов было выше, чем на станциях центральных разрезов. Максимальное содержание хлорофилла зарегистрировано на станциях северного прибрежного разреза, что связано с повышенной продуктивностью фитопланктона в условиях эвтрофикации. Высокие концентрации пигментов в ДО на станциях южного разреза также обусловлены повышенной первичной продукцией, о чем свидетельствует содержание хлорофилла в толще воды (42–44 мг/м²). Фотосинтетическая активность фитопланктона зависит от его обеспеченности биогенными веществами вследствие интенсивного водообмена с открытой частью прол. Лаперуза, от влияния вод Охотского моря и апвеллинга. Взвешенные органические вещества, содержащие пигменты, на-

капливаются в толще воды и седиментируются в виде отложений в глубоководной части залива.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение закономерностей распределения растительных пигментов в верхнем слое донных отложений зал. Анива в связи с биотическими и абиотическими факторами продуктивности показало, что содержание пигментов в ДО возрастало при увеличении глубины станции, влажности осадка и концентрации ОВ (табл. 4). Зависимость между содержанием осадочных пигментов и продукцией фитопланктона отразилась в положительной корреляции между концентрацией хлорофилла *a* в донных отложениях и в толще воды под 1 м²; некоторое уменьшение этой связи в 2013 г. было обусловлено снижением продуктивности микроводорослей осенью. Фитопланктонное проис-

Таблица 3. Характеристика донных отложений в зал. Анива

Показатель	2005 г.	2013 г.
Влажность, %	$\frac{12.0-39.5}{20.0 \pm 2.9}$	$\frac{7.0-51.5}{36.0 \pm 2.9}$
Размер частиц $d > 10-1$ мм, %	$\frac{0.0-85.4}{12.9 \pm 8.8}$	$\frac{0.0-45.6}{2.3 \pm 2.1}$
Размер частиц $d = 1-0.1$ мм, %	$\frac{0.0-78.1}{43.9 \pm 6.8}$	$\frac{8.4-71.3}{36.8 \pm 4.4}$
Размер частиц $d = 0.1- < 0.005$ мм, %	$\frac{0.0-75.7}{43.2 \pm 7.5}$	$\frac{28.5-91.7}{60.9 \pm 4.5}$
Содержание органического вещества, %	$\frac{0.9-2.8}{1.4 \pm 0.2}$	$\frac{0.2-2.7}{1.6 \pm 0.2}$
Хл + Ф, мкг/г сухого осадка	$\frac{1.9-9.0}{4.7 \pm 0.7}$	$\frac{4.4-19.5}{8.2 \pm 0.7}$
Хл + Ф, мг/г органического вещества	$\frac{0.21-0.40}{0.32 \pm 0.02}$	$\frac{0.32-2.2}{0.62 \pm 0.09}$
Ф, % от общего содержания пигментов	$\frac{63.7-93.1}{77.6 \pm 3.0}$	$\frac{59.9-100.0}{86.9 \pm 2.1}$

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: Хл – хлорофилл *a*, Ф – феофитин *a*.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между концентрацией растительных осадочных пигментов, а также биотическими и абиотическими показателями воды и донных отложений в зал. Анива ($p < 0.05$)

Показатель	Хл + Ф, мкг/г		Ф, мкг/г	
	2005 г.	2013 г.	2005 г.	2013 г.
Глубина, м	+0.58	+0.58	+0.47	+0.63
Температура, °С	+0.40	-0.48	+0.40	–
pH	–	-0.68	–	-0.73
Влажность, %	+0.95	+0.63	+0.98	+0.76
Содержание органического вещества, %	+0.97	+0.68	+0.99	+0.80
Хл + Ф, мг/г органического вещества	+0.57	+0.68	+0.45	+0.49
Хл + Ф в толще воды, мг/м ²	+0.58	+0.50	–	+0.62

Примечание. “–” – статистически значимые связи отсутствуют.

хождение ОВ подтверждалось наличием связи между содержанием ОВ и глубиной станции ($r = 0.58$ в 2005 г. и $r = 0.67$ в 2013 г. при $p < 0.05$). Корреляция между содержанием пигментов и свойствами ДО нарушена для станций 4, 5 и 18, располагавшихся в зоне влияния речных стоков, где небольшая глубина (24–40 м) и высокий процент насыщения придонных слоев кислородом (97–99%) способствовали быстрому разрушению хлорофилла, которое усиливалось на мелководье под действием солнечного света. Максимальное содержание ОВ (2.0–2.8%) и повышенная влажность осадков (39.5–51.1%) в этих районах связаны с активным развитием бентосных водорослей в условиях уве-

личения концентраций биогенных соединений. Последнее обусловлено воздействием на мелководный район залива природных (речной сток, нерест лососей) и антропогенных (инфраструктура крупного морского торгового порта “Корсаков”, строительство и запуск завода по производству сжиженного газа) факторов (Леонов, Пищальник, 2012; Коренева, Латковская, 2013).

Связь между содержанием пигментов и гидролого-гидрохимическими параметрами выражена слабее. Весной 2005 г. повышение температуры от -1.6 до 4.3°C сопровождалось увеличением содержания осадочных пигментов (табл. 5). Осенью

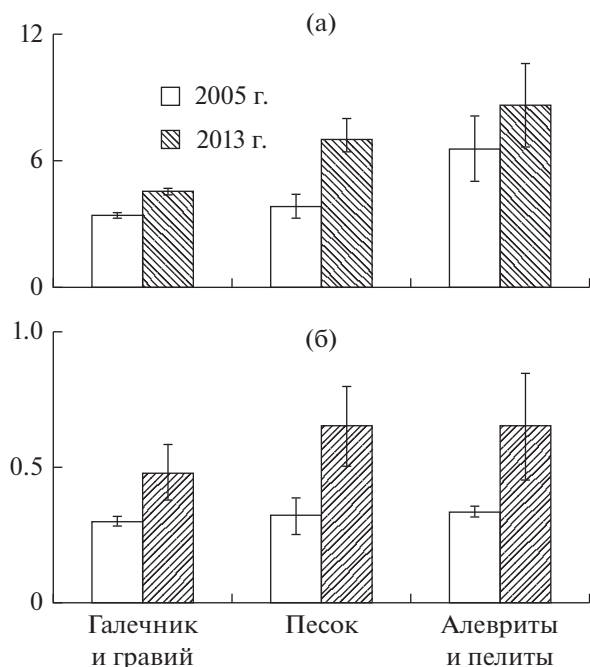


Рис. 3. Содержание растительных пигментов в разнотипных донных отложениях зал. Анива в разные годы: а – в сухом осадке, мкг/г; б – в органическом веществе, мкг/г.

2013 г. повышение концентраций Хл + Ф и Ф отмечено при снижении рН с 8.15 до 7.63 при увеличении глубины станции.

Факторный анализ выявил два наиболее значимых фактора, которые весной 2005 г. определяли

67–71% общей изменчивости изученных параметров (табл. 5). Первый фактор, вклад которого в суммарную дисперсию составил 38%, наиболее значимо определял изменчивость продукционных характеристик (содержание Хл + Ф и Ф) и физико-химических показателей ДО (влажность, содержание ОВ и тонких гранулометрических фракций). Интерпретация факторных нагрузок позволила идентифицировать этот фактор как биотический. Второй фактор (33% от суммарной дисперсии) положительно коррелировал с глубиной станции, но отрицательно – с температурой, рН и растворенным кислородом. Этот фактор, очевидно, гидролого-гидрохимический.

Осенью 2013 г. доминирующий фактор, на 50% определявший изменчивость большинства изученных показателей, был обусловлен особенностями водного режима. Апвеллинг и Восточно-Сахалинское течение, обогащающие поверхностные воды залива биогенными веществами в этот период (Шевченко, Частиков, 2004; Леонов, Пищальник, 2012), способствуют повышению продуктивности фитопланктона. Вклад второго фактора, оказавшего влияние на содержание илстых фракций, составил 17%. Так как процессы седиментогенеза для пелитов и алевритов различаются (пелиты являются материалом более дальнего разноса, чем алевриты), объединение в одну группу тонких илстых частиц обусловлено, очевидно, морфометрическими характеристиками залива (глубина) и свойственно зонам аккумуляции.

По среднему содержанию хлорофилла с дериватами в ДО (Möller, Scharf, 1986), которое составило 6.5 ± 0.7 мкг/г сухого осадка (0.47 ± 0.06 мкг/г ОВ),

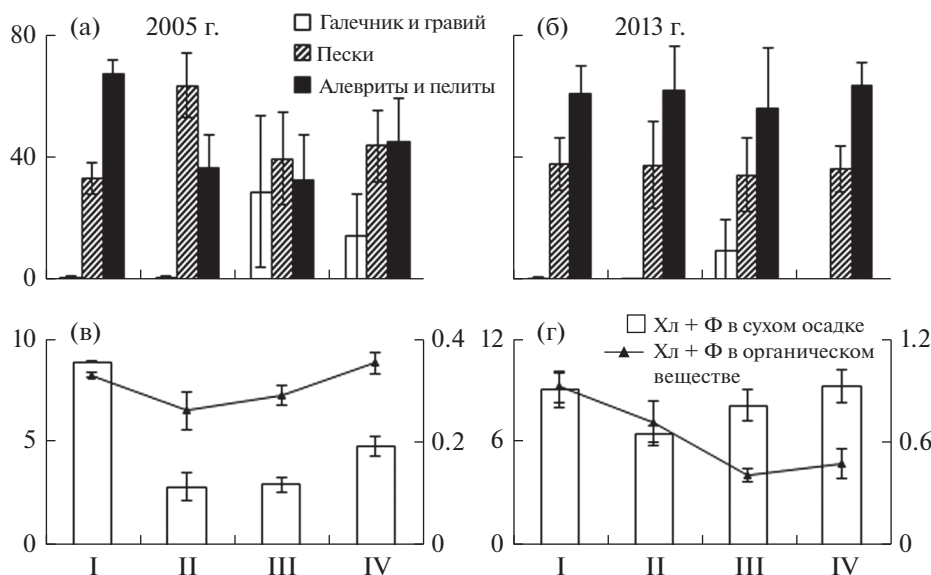


Рис. 4. Содержание гранулометрических фракций, % (а, б); хлорофилла а и феофитина а в сухом осадке, мкг/г (в) и в органическом веществе, мкг/г (г) в донных отложениях зал. Анива на стандартных разрезах I–IV в 2005 и 2013 гг. Условные обозначения: Хл – хлорофилл а, Ф – феофитин а.

Таблица 5. Факторные нагрузки для изученных параметров воды и донных отложений зал. Анива (при $p < 0.05$)

Показатель	2005 г.		2013 г.	
	фактор 1	фактор 2	фактор 1	фактор 2
Глубина, м	-0.07	0.93	0.91	0.13
Температура, °С	0.29	-0.88	-0.71	-0.31
pH	-0.21	-0.71	-0.87	-0.01
Растворенный кислород, мг/дм ³	-0.46	-0.77	-0.64	-0.50
Сумма Хл + Ф в толще воды, мг/м ²	-0.17	0.62	0.20	-0.45
Влажность, %	0.97	-0.22	0.81	-0.25
Содержание органического вещества, %	0.98	-0.20	0.83	-0.14
Хл + Ф, мкг/г сухого осадка	0.97	-0.08	0.92	-0.36
Хл + Ф, мг/г органического вещества	0.44	0.40	-0.20	0.00
Ф, мкг/г сухого осадка	0.98	-0.13	0.95	-0.34
Размер частиц $d = > 10-1$ мм, %	-0.43	-0.68	0.31	-0.46
Размер частиц $d = 1-0.1$ мм, %	-0.09	0.63	0.78	-0.65
Размер частиц $d = 0.1- < 0.005$ мм, %	0.58	0.22	0.89	0.85
Вклад фактора в суммарную дисперсию, %	38	33	50	17

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые нагрузки.

зал. Анива можно считать олиготрофным водоемом. Аналогичное трофическое состояние этого залива было определено в летне-осенний период по содержанию хлорофилла *a* в планктоне (Коренева, Латковская, 2013) согласно классификации продуктивности пресноводных экосистем (Бульон, 1993). Вместе с тем на основе классификаций продуктивности вод Мирового океана по содержанию поверхностного хлорофилла (Ведерников, 1975; Antoine et al., 1996; Мордасова, 2014), зал. Анива на разных его участках попадает в градацию от эвтрофных до мезотрофных водоемов весной и от мезотрофных до олиготрофных – летом и осенью.

Вероятно, главными причинами низкого содержания Хл + Ф в донных отложениях зал. Анива являются специфика гидродинамического режима, который характеризуется интенсивной циклонической деятельностью, и структура грунтового комплекса. Именно они определяют условия распределения и трансформации пигментов. Особенности связи содержания пигментов с факторами среды отражают специфические черты морской экосистемы с глубинами от 16 до 101 м и с высокой прозрачностью воды (10–15 м), а также с относительно низкой температурой (от -1.6 до 9.6°С), характерной соленостью 30.2–33.0‰, величинами pH в диапазоне 7.33–8.15 и с содержанием растворенного кислорода 61–126% насыщения. Содержание Хл + Ф в донных отложениях зал. Анива Охотского моря (1.9–19.5 мкг/г) сходно с концентрацией осадочных растительных пигментов в Амурском заливе Японского моря (3.0–19.0 мкг/г)

(Марьяш и др., 2010). Выявленные закономерности распределения пигментов в донных отложениях зал. Анива согласуются с таковыми в морских и пресноводных экосистемах (Ястребова, 1938; Горшкова, 1965; Чербаджи и др., 1980; Сигарева, 2012; Sigareva et al., 2013).

Таким образом, получены первые данные о содержании растительных пигментов в донных отложениях зал. Анива (Охотское море), расположенного в районе умеренно-муссонного климата. Концентрация осадочных растительных пигментов невысокая, что свидетельствует об олиготрофном состоянии бентали и о его сходстве с таковым пелагиали. Количество Хл + Ф варьирует в зависимости от типа донных отложений, их физико-химических характеристик и суммарного содержания хлорофилла в толще воды, это отражает преобладающее влияние продуктивности фитопланктона на формирование осадочного комплекса пигментов. Временная изменчивость содержания пигментов в донных отложениях залива определяется разными причинами: весной – гидролого-гидрохимическими характеристиками (глубина, температура, pH, растворенный кислород и др.) и свойствами донных отложений (структура грунтового комплекса, влажность, содержание ОВ); осенью – особенностями водного режима (апвеллинг, влияние водных масс Охотского моря), которые способствуют быстрому изменению абиотических условий, повышающих продуктивность фитопланктона.

Полученные для зал. Анива данные согласуются с результатами изучения распределения растительных пигментов в донных отложениях мор-

ских и пресноводных водоемов, отражая экологическую зональность и единые закономерности функционирования водных экосистем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках договора о научно-исследовательском сотрудничестве между ИБВВ РАН и ФГБНУ СахНИРО.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны сотрудникам отдела исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия ФГБНУ СахНИРО за отбор и первичную обработку проб, а также лично к. б. н. Е.М. Латковской за организацию экспедиционных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бульон В.В.* Первичная продукция и трофическая классификация водоемов // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометеиздат. 1993. С. 147–157.
- Ведерников В.И.* Зависимость ассимиляционного числа и концентрации хлорофилла “а” от продуктивности вод в различных температурных областях Мирового океана // Океанология. 1975. Т. 15. № 4. С. 703–707.
- Гаврина Л.Ю., Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В.* Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям // Тр. СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 156–178.
- Горшкова Т.И.* Хлорофилл и каротиноиды в осадках Балтийского моря и Рижского залива // Тр. ВНИРО. 1965. Т. 57. С. 313–328.
- ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов. 1991. 7 с.
- ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ. 2013. 46 с.
- ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ. 2015. 19 с.
- Ефимов В.М., Ковалева В.Ю.* Многомерный анализ биологических данных: Учеб. пособие, 2-е изд., испр. и доп. СПб.: ВИЗР РАСХН. 2008. 87 с.
- Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И.* Первичная продукция // Океанология. Биология океана. Т. 2: Биологическая продуктивность океана. М.: Наука. 1977. С. 183–209.
- Коренева Т.Г., Латковская Е.М.* Характеристика изменчивости вод залива Анива по содержанию пигментов фитопланктона // Вода: химия и экология. 2013. № 10. С. 68–78.
- Коренева Т.Г., Латковская Е.М., Частиков В.Н.* Сезонная динамика гидролого-гидрохимических характеристик и концентрации хлорофилла а в зал. Анива в 2003 г. // Вода: химия и экология. 2014. № 4. С. 33–45.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа. 1990. 352 с.
- Леонов А.В., Пищальник В.М.* Моделирование природных процессов в водной среде. Теоретические основы. Южно-Сахалинск: Изд. СахГУ. 2012. 228 с.
- Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНиОМО РФ. 2003. 435 с.
- Марьяш А.А., Ходоренко Н.Д., Звалинский В.И., Тищенко П.Я.* Хлорофилл, гуминовые вещества и органический углерод в эстуарии реки Раздольная в период ледостава // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 6. С. 44–51.
- Мордасова Н.В.* Косвенная оценка продуктивности вод по содержанию хлорофилла // Тр. ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 41–56.
- Объемная концентрация растворенного кислорода в морских водах. Методика измерений йодометрическим методом: РД 52.10.736-2010. М.: ФГУ ГОИН. 2010. 27 с.
- Пищальник В.М., Климов С.М.* Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин в период 1948–1987 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 1991. 166 с.
- Пропп Л.Н., Гаврина Л.Ю.* Сезонные вариации соединений биогенных элементов и продукционных характеристик в водах залива Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. // Тр. СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 111–155.
- Сигарева Л.Е.* Хлорофилл в донных отложениях волжских водохранилищ. М.: Товарищество науч. изд. КМК. 2012. 217 с.
- Чербаджи И.И., Пропп М.В., Рябушко В.И., Погребов В.Б.* Фотосинтез и дыхание донных сообществ на твердых грунтах залива Восток (Японское море) // Биол. моря. 1980. Т. 4. С. 46–53.
- Шевченко Г.В., Частиков В.Н.* Динамические процессы в заливе Анива (о. Сахалин) по результатам инструментальных измерений осенью 2000 г. // Метеорология и гидрология. 2004. № 5. С. 55–75.
- Ястребова Л.А.* Хлорофилл в морских осадках // Тр. ВНИРО. 1938. Т. 5. С. 189–221.
- Antoine D., André J.-M., Morel A.* Oceanic primary production: 2. Estimation at global scale from satellite (Coastal Zone Color Scanner) chlorophyll // Global Biogeochem. Cycles. 1996. V. 10. № 1. P. 57–69.
- Bianchi T.S., Rolff C., Lambert C.D.* Sources and composition of particulate organic carbon in the Baltic Sea: the use of plant pigments and lignin-phenols as biomarkers // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1997. V. 156. P. 25–31.
- Bianchi T.S., Rolff C., Widbom B., Elmgren R.* Phytoplankton pigments in Baltic Sea seston and sediments: sea-

- sonal variability, fluxes, and transformations // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2002. V. 55. № 2. P. 369–383.
- Carstensen J., Henriksen P.* Phytoplankton biomass response to nitrogen inputs: a method for WFD boundary setting applied to Danish coastal waters // *Hydrobiologia*. 2009. V. 633. P. 137–149.
- Krajewska M., Szymczak-Żyła M., Kowalewska G.* Algal pigments in Hornsund (Svalbard) sediments as biomarkers of Arctic productivity and environmental conditions // *Pol. Polar Res.* 2017. V. 38. № 4. P. 423–443.
- Lorenzen B.A.* Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations // *Limnol. Oceanogr.* 1967. V. 12. № 2. P. 343–346.
- Möller W.A.A., Scharf B.W.* The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication // *Hydrobiologia*. 1986. V. 143. P. 327–329.
- Morata N., Renaud P.E.* Sedimentary pigments in the western Barents Sea: A reflection of pelagic-benthic coupling? // *Deep Sea Res. Part II*. 2008. V. 55. № 20–21. P. 2381–2389.
- Reuss N., Leavitt P.R., Hall R.I. et al.* Development and application of sedimentary pigments for assessing effects of climatic and environmental changes on subarctic lakes in northern Sweden // *J. Paleolimnol.* 2010. V. 43. P. 149–169.
- Sigareva L.E., Timofeeva N.A.* Sedimentary chlorophyll and pheopigments for monitoring of reservoir characterized by exclusively high dynamism of abiotic conditions // *Chlorophyll: structure, production and medicinal uses*. N.Y.: Nova Science Publishers. 2011. Ch. V. P. 151–176.
- Sigareva L.E., Timofeeva N.A.* The phytoplankton role in formation of bottom sediment productivity in a large reservoir in the years with different temperature conditions // *Phytoplankton: biology, classification and environmental impacts*. N.Y.: Nova Science Publishers. 2014. Ch. VI. P. 161–175.
- Sigareva L.E., Zakonnov V.V., Timofeeva N.A., Kasyanova V.V.* Sediment pigments and silting rate as indicators of the trophic condition of the Rybinsk reservoir // *Water Res.* 2013. V. 40. № 1. P. 54–60.
- StatSoft, Inc. Электронный учебник по статистике. М.: StatSoft. 2012. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> – Загл. с экрана. Дата обращения: 03.08.2018.
- Szymczak-Żyła M., Kowalewska G., Louda J.W.* Chlorophyll-*a* and derivatives in recent sediments as indicators of productivity and depositional conditions // *Mar. Chem.* 2011. V. 125. P. 39–48.

The Distribution of Chlorophyll *a* in the Bottom Sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk)

T. G. Koreneva^a and L. E. Sigareva^b

^a*Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk 693023, Russia*

^b*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok 152742, Russia*

This paper reports the first data on the content of plant pigments in the upper bottom sediment layer of Aniva Bay (Sea of Okhotsk) located in the temperate-monsoon climatic zone. A positive relationship was found between the concentration of sedimentary chlorophyll *a* and its total content in the water column, which reflects a prevalent role of phytoplankton in the formation of the sedimentary pigment complex. A significant variability of the pigments' spatial distribution in the bay is shown to be caused by the hydrological-hydrochemical parameters and characteristics of the bottom sediments. The content of chlorophyll *a* and pheopigments in sediments showed values of the oligotrophic category and averaged $6.5 \pm 0.7 \mu\text{g/g}$ of dry sediment or $0.47 \pm 0.06 \text{ mg/g}$ of organic matter.

Keywords: plant pigments, bottom sediments, Aniva Bay