

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОД ЗАЛИВА АНИВА по СОДЕРЖАНИЮ ПИГМЕНТОВ ФИТОПЛАНКТОНА

На основе данных 2003–2012 гг. о составе и содержании пигментов фитопланктона (хлорофиллов *a*, *b*, *c*, феофитина *a* и каротиноидов) в воде зал. Анива изучена их пространственно–временная изменчивость и дана оценка современного экологического состояния залива.

Введение

Залив Анива — важный рыбопромысловый район о. Сахалин, являющийся местом нагула и нереста промысловых видов рыб и беспозвоночных. В связи с реализацией проектов по освоению морских нефтегазовых месторождений в последнее десятилетие существует опасность негативного воздействия на состояние экосистемы залива и необходимость оценки ее современного состояния. Чувствительность к загрязнению и высокая скорость воспроизводства позволяют использовать фитопланктон в качестве инструмента для своевременного выявления признаков нарушения экологического равновесия и предотвращения негативных последствий. Сходство и одновременное участие пигментов фитопланктона и органических веществ в продукционно–деструкционных процессах свидетельствует о синхронности гидрологических и биологических процессов и придает фитопигментам значение интегральных экосистемных показателей [1–4].

Комплексные исследования вод зал. Анива, включающие определение концентрации хлорофилла *a* (**Хл *a***), основного пигмента фитопланктона, впервые были проведены

Т.Г. Коренева*,
научный сотрудник
Отдела исследований среды
и мониторинга антропогенного воздействия,
ФГУП Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

Е.М. Латковская,
кандидат биологических наук,
заведующий Отделом исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия,
ФГУП Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

в 2001–2002 гг. [5, 6]. Хл *a* — один из важнейших и широко используемых в практике морских исследований показатель биомассы и продуктивности фитопланктона. Сведения о других фотосинтетических пигментах ограничиваются кратким сообщением о диапазоне величин, сезонном ходе и вкладе каждого пигмента в их суммарное содержание [7]. Между тем, пигментные характеристики (содержание каротиноидов (**К**), хлорофиллов *b* и *c* (**Хл *b*** и **Хл *c***), феофитин *a* (**Ф *a***), соотношение основного и вспомогательных фитопигментов) также обладают значительной информативностью. Продукты деградации хлорофиллов могут быть показателями выедания планктона, формирования детрита и функционирования бактериального сообщества, поступления растительных остатков с водосборной территории и из донных отложений [8, 9]. Соотношения пигментов дают представление о таксономическом составе и физиологическом состоянии сообщества водорослей [10–12].

С началом дноуглубительных работ в районе сооружения причальных устройств и строительства завода по сжижению природного газа (**СПГ**) в северо–восточной прибрежной части залива в 2003 г. и по настоящее время, наряду с Хл *a*, в водах залива определяли содержание комплекса фитопигментов (Хл *b*, Хл *c*, **К**, **Ф *a***).

Цель работы — обобщить полученные в разные годы данные по содержанию пигментов фитопланктона, изучить их пространственно–временную изменчивость и оценить современное экологическое состояние вод залива Анива.

*Адрес для корреспонденции: koreneva@sakhniro.ru

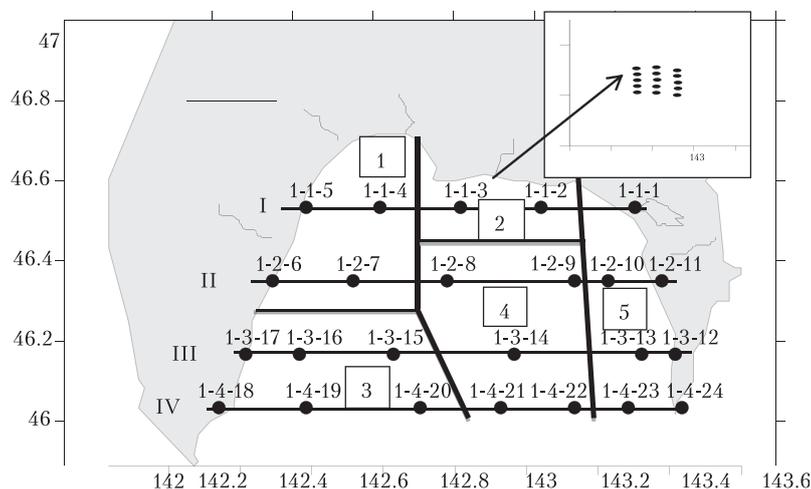


Рис. 1. Схема станций отбора проб в заливе Анива в 2003 г. (в правом верхнем углу) и 2005–2012 гг.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили результаты сезонных исследований содержания пигментов фитопланктона в воде зал. Анива на 24 станциях 4-х стандартных океанологических разрезов, а также в прибрежной его части в районе строительства завода СПГ, полученные на НИС «Дмитрий Песков» в период с 2003 по 2012 гг.

В данной работе воспользовались районированием акватории залива по характерным особенностям океанологических условий и годового хода температуры воды на стандартных станциях, а также с учетом сезонного характера распределения планктонных организмов [13]. В связи с невозможностью работы судна

Таблица 1

Основные сведения об экспедиционных исследованиях

Год	Дата проведения	Месяц	Число станций	Число проб	Определяемые пигменты
2003	15–22	IV	15	44	Хл <i>a</i> , Хл <i>b</i> , Хл <i>c</i> , К, Ф
	10–18	VI	15	36	
	2–19	VIII	15	15	
	25–27	X	15	36	
	25–27	XI	15	36	
2005	25–26	V	16	31	
2007	18–20	VII	21	41	
2009	24–29	IV	24	94	
	5–7	VI	24	82	
	3–7	VII	24	83	
	29–01	VIII–IX	23	46	
	10–13	X	24	67	
2012	4–10	V	21	61	
	3–7	VII	24	86	

в мелководном северо–западном районе залива участки 1 и 2 были объединены в один — участок 1, а с целью более детального изучения вод вблизи завода СПГ участок 4 разбит на участки 4 и 2. Схема станций отбора с расположением стандартных разрезов и выделенных участков, с проведенными между ними условными границами, представлена на рис. 1. Сведения об экспедиционных исследованиях приведены в табл. 1.

Отбор проб осуществляли с помощью батометров. Подготовку для анализа и содержание пигментов определяли согласно ГОСТ 17.1.04.02–90 [14]. Пробы воды объемом 2 л фильтровали через стекловолоконные фильтры типа GF/F. В работе использовали данные, охватывающие фотическую зону, границу которой рассчитывали, исходя из утроенной глубины прозрачности по диску Секки [15]. Относительная прозрачность изменялась от 8–10 м на мелководных станциях северных прибрежных участков в октябре до 15–18 м на глубоководных станциях центрального и юго–восточного участков в апреле.

Изменение структуры вод оценивали по акватории, в сезонном и межгодовом аспекте по изменениям коэффициентов корреляции между рядами данных содержания и состава пигментов водорослей. Анализ проводили для пигментных характеристик отдельных станций и осредненных значений в пределах выделенных участков за каждый срок наблюдения. Исходные данные включали абсолютные концентрации фитопигментов (Хл *a*, Хл *b*, Хл *c*, их сумму — Хл (*a+b+c*), продукт деградации Хл *a* — Ф *a*, чистый хлорофилл без продуктов его деградации — Хл *a_ч*, сумму феопигментов с чистым Хл (Хл *a_ч*+Ф *a*), К), и относительные пигментные характе-

ристики (процентный вклад Хл *a*, *b* и *c* в их сумме (Хл *a*, %, Хл *b*, %, Хл *c*, %), процентный вклад феопигментов в сумме с чистым Хл (Ф *a*, %), отношение К и Хл в виде пигментного индекса (ПИ) E_{480}/E_{664}). Оценку степени сопряженности между варьирующими признаками проводили по [16].

Результаты и их обсуждение

Количественные показатели полученных значений Хл *a* значительно варьировались в периоды исследований (табл. 2), но согласовывались с полученными ранее данными [5, 6].

Сезонная динамика Хл *a* характеризовалась выраженным максимумом концентраций в апреле, который находился в пределах отмеченных ранее величин и составлял в среднем 3,81 и 4,62 мкг/дм³ в 2003 и 2009 г., соответственно (табл. 2, рис. 2). Для периода с июня по октябрь 2009 г. был характерен относительно низкий уровень пигмента и незначительная его временная изменчивость, тогда как в аналогичный период 2003 г. в районе завода СПГ наблюдался заметный рост концентрации Хл *a* в октябре. Это свидетельствует о некотором отличии в развитии фитопланктона между глубоководной и мелководной частями залива, что связано с наибольшим влиянием речных вод на его прибрежную часть [13].

Результаты исследований показывают, что Хл *a* во все периоды составлял основную часть суммарной концентрации пигментов. Так, в апреле во время активной вегетации водорослей доля его от суммы Хл в большинстве случаев изменялась в диапазоне 60–90 % (рис. 3). Относительное содержание Хл *b*, индикатора зеленых и некоторых эвгленовых водорослей, было невысоко (0–10 %). Вклад Хл *c*, индикатора диатомовых и золотистых водорослей, был высоким и преимущественно находился в интервале 20–40 % от суммы Хл. Высокая доля Хл *a* и Хл *c* в этот период была обусловлена составом фитопланктона до 99% состоящего из диатомовых водорослей [7]. Содержание продукта деградации составляло 20–40 % от суммарного содержания с Хл *a* (рис. 3). Значения ПИ (2,75–3,0 и ниже) свидетельствовали об активном росте фитопланктона и его хорошей обеспеченности минеральным питанием (рис. 4) [17, 18].

В период сезонного минимума июнь–август активности фитопланктона доля Хл *a* и Хл *c* уменьшалась до 50–80 и 10–30 %, соответственно.

Таблица 2

Содержание Хл *a* в фотической зоне зал. Анива в 2003–2012 гг., мкг/дм³

Год, месяц	Пределы изменения	Среднее с ошибкой
2003, IV	0,06–12,14	3,81±0,42
2003, VI	0,08–10,65	1,75±0,37
2003, VIII	0,01–3,08	0,57±0,10
2003, IX	0,02–4,29	1,30±0,13
2003, XI	0,28–1,12	0,57±0,04
2005, V	0,18–1,87	0,59±0,07
2007, VII	0,09–2,55	0,74±0,07
2009, IV	0,31–27,32	4,62±0,51
2009, VI	0,21–2,96	0,72±0,07
2009, VII	0,24–2,24	1,08±0,06
2009, VIII–IX	0,29–3,40	1,03±0,09
2009, X	0,06–4,33	0,83±0,08
2012, V	0,37–12,65	2,69±0,35
2012, VII	0,21–3,68	1,05±0,09

соответственно. Количество Хл *a* увеличилось и составляло, в основном, 10–30 %, достигая в 2003 г. в прибрежном районе 40 %. Содержание Ф *a* изменялось в широком диапазоне 20–80 %, указывая на его заметное влияние, особенно в прибрежье (рис. 3). Значения ПИ (в основном более 2,75–3,0) свидетельствовали об угнетенном состоянии водорослей (рис. 4) [17, 18].

С августа наблюдался рост доли Хл *a* и в октябре его вклад составлял 60–90 % и выше от суммы Хл (рис. 3). Вклад Хл *b* и Хл *c* уменьшался до 0–20 %, доля Ф *a* в большинстве случаев составляла 30–40 %, хотя в мелководном районе в 2003 г. влияние его было гораздо значительнее. В прибрежье доля Хл *b* осенью также была несколько выше, очевидно, за счет поступления пигмента в залив с органическими веществами с водосборной территории и из донных отложений. Значения ПИ свидетельствовали о некотором повышении активности водорослей осенью в глубоковод-

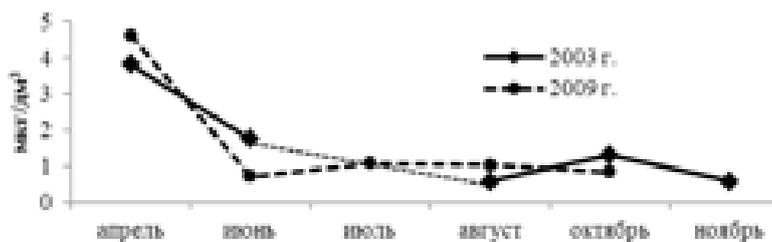


Рис. 2. Сезонный ход Хл *a* в водах зал. Анива в 2003 и 2009 гг.

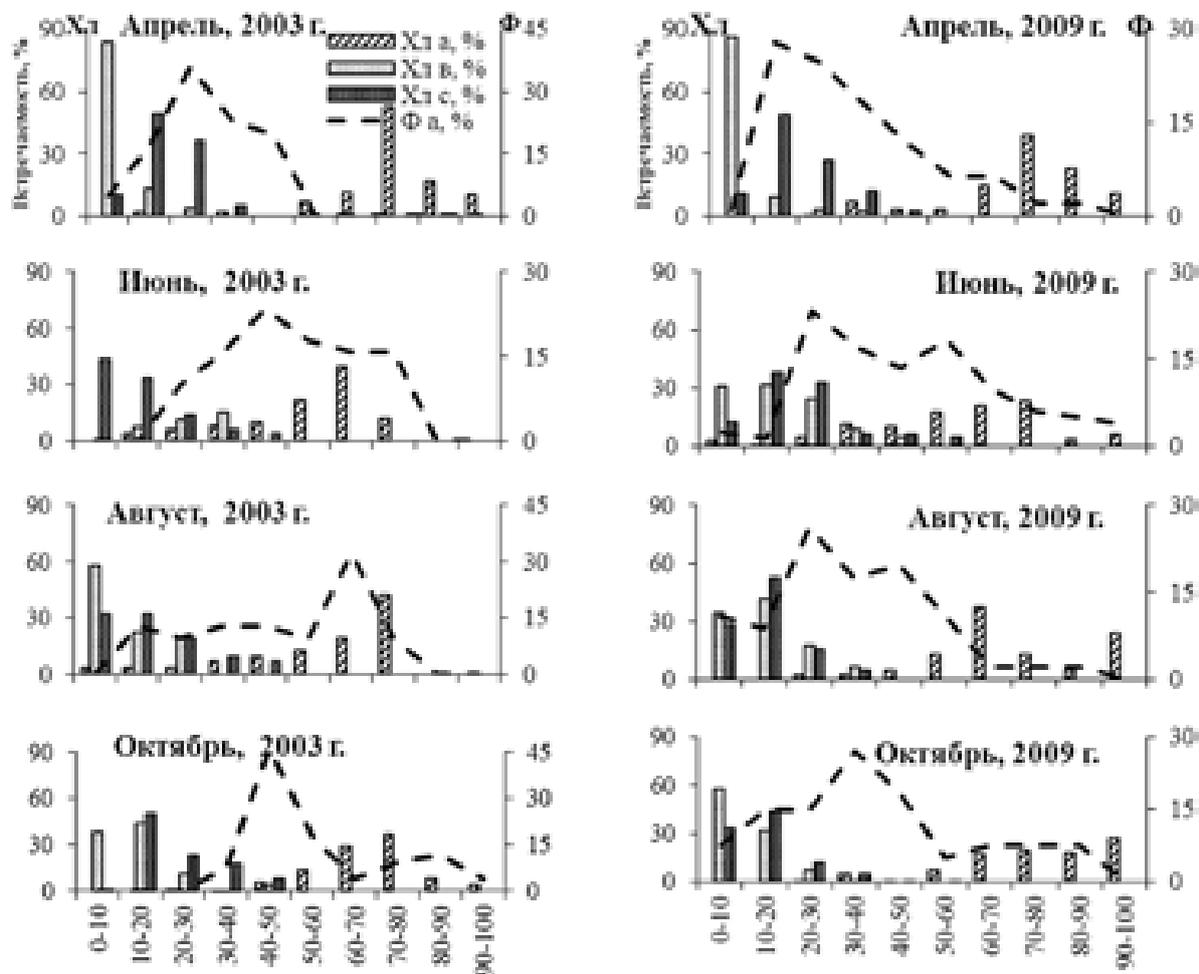


Рис. 3. Гистограммы сезонного распределения некоторых относительных пигментных характеристик по интервалам величин в 2003 и 2009 гг. (Хл а, Хл б, Хл с и Ф а).

ной части залива (около 30 % случаев в диапазоне 2,5–2,75) и в прибрежье (рис. 4) (45 % случаев в диапазоне 2,5–3,0).

Для выявления синхронности пространственно-временной изменчивости сгруппированные по отдельным периодам данные абсолютного и относительного содержания пигментов для всех станций были проанализированы на наличие связи между ними. Наличие значимой положительной корреляционной связи между рядами абсолютных содержаний пигментов (Хл а, Хл с, Хл а_с, Ф а, К, Хл (а+б+с), Хл а_с+Ф) наблюдалось для всех исследованных периодов ($r = 0,35–0,99$ при $p < 0,05$). Наиболее сильная связь между всеми характеристиками отмечена для апреля 2009 г. ($r = 0,83–0,99$ при $p < 0,05$, $n = 94$) и мая 2012 г. ($r = 0,91–0,98$ при $p < 0,05$, $n = 61$), а для связи между Хл а и Хл с коэффициент корреляции достигал максимальных величин ($r = 0,95–0,99$). Заметное снижение всех связей абсолютных характеристик наблюдалось в июле–августе ($r = 0,43–0,96$). Тесная отрицательная корреляция ($r = -0,64–-0,92$ при $p < 0,05$) отмечена во все периоды и для соотношений пигментов (Хл а, %, Хл б, %, Хл с, %, Ф, %). Практически всегда, кроме

единичных периодов (апрель 2003 и 2009 гг. и май 2012 гг.), отсутствовала связь между Хл б и абсолютными значениями остальных пигментных характеристик, а связь между Хл б, % и другими относительными характеристиками была наиболее слабой. Невысокая вариабельность показателей в корреляционном анализе свидетельствует о постоянстве состава исследуемого комплекса фитопигментов в заливе. Наиболее тесная корреляционная связь абсолютных и относительных значений Хл а и Хл с в апреле–мае может свидетельствовать о едином источнике их поступления в залив, которым, по всей видимости, являются диатомовые водоросли, всесезонно доминирующие в составе фитопланктона [7, 19]. Именно поэтому при снижении биомассы диатомовых и возрастании доли других отделов водорослей в июле–августе наблюдается ослабление корреляционной зависимости между Хл а и Хл с, а также усиление связи между Хл б, % и остальными пигментными характеристиками.

Пространственные различия, отмеченные ранее для Хл а [5, 6], прослеживаются и в данной работе, особенно ярко проявляясь весной. Так, наибольшие

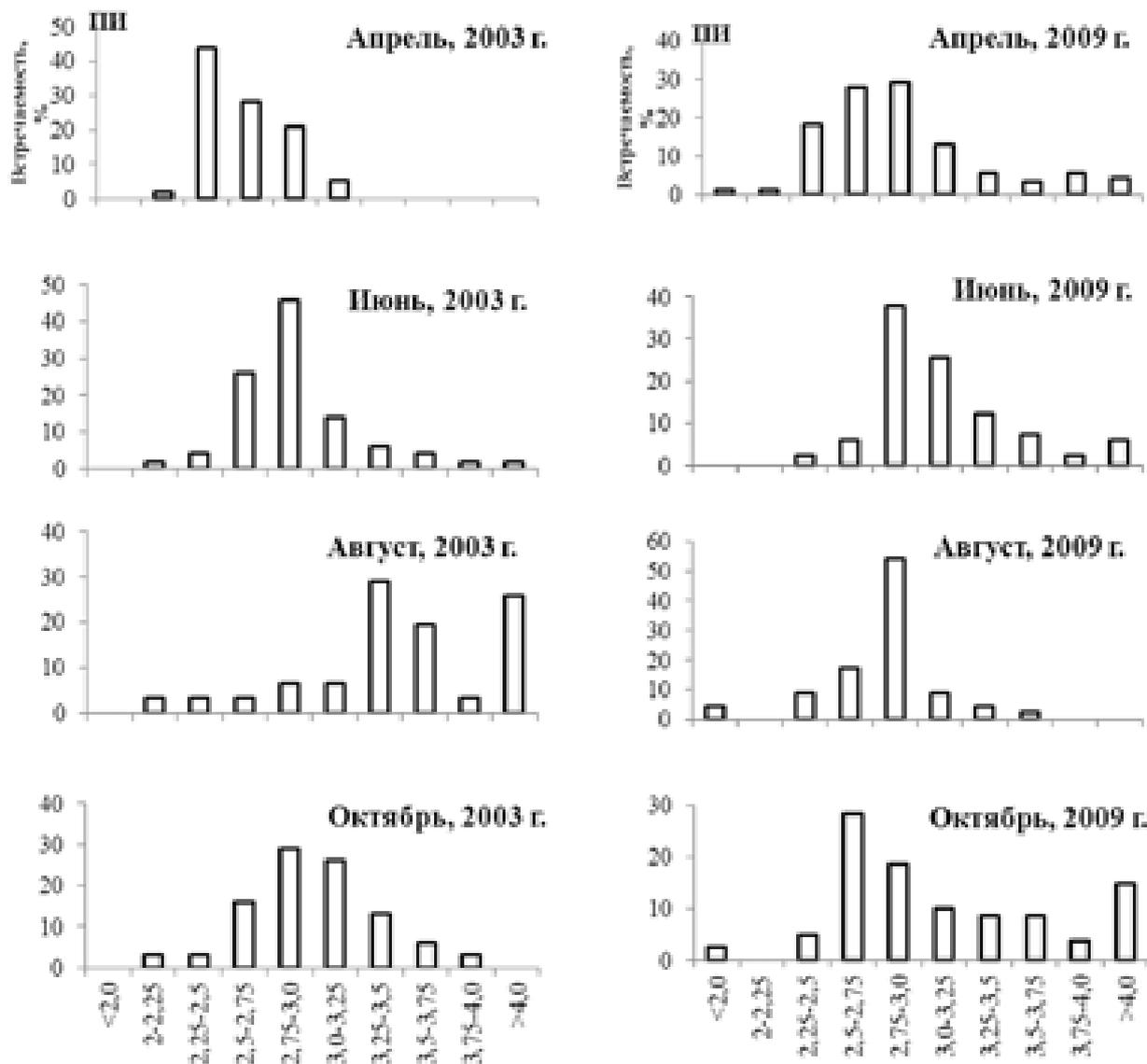


Рис. 4. Гистограммы сезонного распределения величины ПИ (E_{480}/E_{664}) по интервалам величин в 2003 и 2009 гг.

концентрации основного пигмента в апреле 2009 г. и в мае 2005 г. в среднем наблюдались в юго-западной части залива (участок 3) и в его центральной наиболее глубоководной части (участок 4) (табл. 3). В мае 2012 г., характеризующемся аномально высокой температурой и соленостью воды [20] и, очевидно, поэтому значительно отличающегося от аналогичного периода 2005 г., повышенные концентрации Хл *a* в среднем отмечались в северо-восточной части залива (участок 2) и вдоль западного его побережья (участок 5). В июне-августе изменчивость концентрации по акватории была незначительной. В октябре при общем невысоком уровне фитопигментов отличия вновь становились существенными — среднее значение концентрации для юго-западной части залива (участок 3) значительно (в 4,6 раза) превосходило таковое для прибрежной части (участок 2) (табл. 3).

Для выявления пространственно-временной изменчивости пигментного комплекса проведен корреляционный анализ исходных данных, осредненных в пределах выделенных участков. Наиболее высокие коэффициенты корреляции получены между рядами, состоящими из показателей абсолютного содержания пигментов. Из табл. 4 видно, что значимое отличие характерно только для вод 1 и 4 участков в апреле 2009 г. и июле 2012 г. Индивидуальность водных масс гораздо заметнее при сравнении связи соотношения пигментных характеристик. Наиболее низкие коэффициенты корреляции ($r = 0,48-0,80$) между участками были отмечены в апреле-мае, что свидетельствует о наибольших различиях водных масс в весенний период (табл. 5). Так, более других различались воды 1 и 2 участков от остальной водной массы залива в апреле 2009 г. и мае 2005 г., соответственно.

Таблица 3

Содержание Хл *a* в водах зал. Анива по участкам, мкг/дм³ (в числителе — пределы изменения, в знаменателе — среднее)

Год, месяц	1 участок	2 участок	3 участок	4 участок	5 участок
2005, V	0,23–0,85 0,52	0,21–0,55 0,31	0,18–1,87 1,09	0,20–0,88 0,60	0,20–0,78 0,39
2007, VII	0,29–1,61 0,84	0,28–1,53 0,74	0,09–1,99 0,76	0,15–1,81 0,66	0,18–2,55 0,73
2009, IV	0,31–4,01 1,14	0,95–10,54 3,33	0,44–17,31 6,83	1,48–27,32 7,45	0,40–19,37 4,37
2009, VI	0,33–2,23 0,84	0,36–1,14 0,69	0,21–2,96 0,64	0,26–1,89 0,69	0,25–2,79 0,72
2009, VII	0,84–2,24 1,45	0,24–1,62 0,94	0,49–2,00 1,11	0,39–1,97 0,95	0,18–1,78 0,94
2009, VIII–IX	0,74–2,97 1,33	0,42–1,25 0,76	0,29–3,40 0,94	0,33–2,01 0,92	0,30–2,56 1,18
2009, X	0,08–2,51 0,90	0,06–0,70 0,31	0,24–4,33 1,42	0,17–1,32 0,83	0,20–2,03 0,92
2012, V	1,11–3,15 2,14	1,47–5,64 3,20	0,82–2,70 1,75	0,77–3,16 1,97	0,37–12,65 4,41
2012, VII	0,30–3,68 1,13	0,39–2,22 1,12	0,28–2,22 0,96	0,21–3,31 0,93	0,31–3,47 1,08

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между абсолютными содержаниями фитопигментов для различных районов залива в отдельные периоды наблюдений при $n = 31-94$

Сравниваемые участки	2005 г.	2007 г.	2009 г.					2012 г.	
	V	VII	IV	VI	VII	VIII–IX	X	V	VII
1 и 2	1,00*	1,00	0,82	0,99	1,00	0,99	1,00	0,92	0,94
1 и 3	1,00	0,90	0,79	0,97	1,00	1,00	1,00	0,99	0,91
1 и 4	1,00	0,96	0,74	0,98	1,00	0,92	1,00	1,00	0,76
1 и 5	1,00	0,95	0,84	0,99	1,00	0,93	1,00	0,97	0,92
2 и 3	1,00	0,92	1,00	0,95	1,00	0,99	1,00	0,95	0,98
2 и 4	1,00	0,98	1,00	0,96	1,00	0,92	1,00	0,93	0,81
2 и 5	1,00	0,97	1,00	0,98	1,00	0,99	1,00	0,90	1,00
3 и 4	1,00	0,98	1,00	0,99	1,00	0,94	1,00	1,00	0,91
3 и 5	1,00	0,97	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,93	0,99
4 и 5	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,94	1,00	0,95	0,86

Примечание: *выделенные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

Существенные отличия этих участков по пигментам, очевидно, связаны с особенностями океанологических условий и состава фитопланктона, формирующимися за счет наибольшей мелководности и влияния речных вод. Высокие коэффициенты корреляции в июне–октябре свидетельствуют об относительной однородности сравниваемых водных масс в этот период.

Для изучения пространственной изменчивости вод был проведен корреляционный анализ между рядами отдельных пигментных характеристик для выделенных участков на примере данных 2009 г., наи-

более полно охватывающих вегетационный период. Наибольшая синхронность в изменчивости большинства пигментных характеристик отмечена между данными, характеризующими 3 и 5, а также 4 и 5 участки ($r = 0,89-1,00$) (табл. 6), что свидетельствует о том, что воды этих участков более или менее однородны по многим параметрам. В большинстве вариантов сравнения данных, относящихся к 1 участку, коэффициенты корреляции были незначимы (табл. 6), что свидетельствует о своеобразии участка и значительном его отличии от сравниваемых. Особенно низкие коэффициенты получены для соотношений

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между относительными содержаниями фитопигментов для различных районов залива в отдельные периоды наблюдений при $n = 31-94$

Сравниваемые участки	2005 г.	2007 г.	2009 г.					2012 г.	
	V	VII	IV	VI	VII	VIII-IX	X	V	VII
1 и 2	0,80	1,00*	0,61	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	1,00
1 и 3	0,88	0,96	0,55	0,89	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99
1 и 4	0,84	0,99	0,54	0,97	0,95	0,92	0,99	1,00	0,88
1 и 5	0,91	0,96	0,68	0,97	0,94	0,99	0,99	1,00	0,99
2 и 3	0,48	0,97	0,98	0,87	0,98	0,99	0,94	1,00	0,99
2 и 4	0,51	1,00	0,99	0,96	0,97	0,92	0,95	0,99	0,87
2 и 5	0,63	0,96	1,00	0,95	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99
3 и 4	0,97	0,98	1,00	0,97	0,97	0,94	1,00	1,00	0,94
3 и 5	0,96	1,00	0,98	0,97	0,97	1,00	0,99	0,99	1,00
4 и 5	0,98	0,97	0,98	1,00	1,00	0,94	0,99	1,00	0,92

Примечание: *выделенные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

пигментов. Так как показатели относительного содержания пигментов обусловлены таксономической принадлежностью и физиологическим состоянием водорослей [12], то очевидно, что все участки в той или иной степени отличаются друг от друга по видовому составу планктона.

Глубина фотического слоя в разные периоды исследований была неодинакова на выделенных нами участках. Так, в апреле в глубоководной части залива (участки 3–5) продукционные процессы (до 110 % нас. кислородом) наблюдались до нижней границы фотической зоны (50 м) и были приурочены

к высоким уровням Хл *a* (до 14,80 мкг/дм³). Ниже, вплоть до 60–70 м, также обнаруживались высокие концентрации Хл *a* (до 2,0 мкг/дм³), что можно объяснить заносом клеток фитопланктона в глубинные слои в результате микроциркуляций. В остальные периоды глубина деятельного слоя не превышала 30 м. С целью нахождения связи между пространственным распределением пигментных характеристик и глубиной, была проанализирована изменчивость средних значений отдельных пигментных характеристик в общем для всех периодов слое (0–30 м). Выяснилось, что различия между участками

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между рядами пигментных характеристик для различных районов зал. Анива в 2009 г. в фотическом слое ($n = 372$)

Сравниваемые участки	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>c</i>	Хл (<i>a+b+c</i>)	Хл <i>a_ч</i>	Ф	К	Хл <i>a_ч+Ф</i>	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>c</i>	Ф	ПИ
	мкг/дм ³								%				
1 и 2	0,24	0,99*	0,60	0,11	-0,27	0,97	0,12	0,49	0,02	0,46	0,67	0,34	0,71
1 и 3	0,15	0,19	0,51	-0,19	-0,36	0,97	-0,15	0,40	0,07	0,27	0,25	-0,27	0,01
1 и 4	0,14	0,71	0,53	-0,15	-0,37	0,94	-0,13	0,41	0,02	0,48	0,02	-0,57	0,41
1 и 5	0,19	0,11	0,51	-0,16	-0,31	0,95	-0,10	0,43	0,18	0,39	0,35	-0,18	0,26
2 и 3	0,98	0,32	0,98	0,93	0,96	1,00	0,88	0,97	0,45	0,72	-0,50	-0,04	0,05
2 и 4	0,99	0,80	0,99	0,95	0,98	0,99	0,92	0,99	0,83	0,98	-0,69	-0,22	0,64
2 и 5	0,99	0,22	0,99	0,94	0,97	0,99	0,91	0,98	0,77	0,93	-0,46	-0,06	0,18
3 и 4	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	0,81	0,83	0,76	0,89	0,68
3 и 5	1,00	0,93	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00	0,87	0,80	0,94	0,90	0,89
4 и 5	1,00	0,70	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,98	0,96	0,81	0,91	0,52

Примечание: *выделенные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

Таблица 7

Коэффициенты корреляции между рядами пигментных характеристик для различных районов зал. Анива в слое 0–30 м в апреле 2009 г. (n = 94)

Сравниваемые участки	Хл a	Хл b	Хл c	Хл (a+b+c)	Хл a _ч	Ф	К	Хл a _ч +Ф	Хл a	Хл b	Хл c	Ф	ПИ
	мкг/дм ³								%				
1 и 2	1,00*	0,77	0,80	0,79	0,79	1,0	0,91	0,95	0,92	0,92	0,80	0,85	0,56
1 и 3	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,10	0,90	0,84	0,88	-0,57	0,97	1,00	0,91
1 и 4	1,00	0,77	0,75	0,90	0,92	0,94	0,97	0,98	0,71	0,19	0,75	0,83	-0,56
1 и 5	1,00	0,65	0,68	0,72	0,84	0,92	0,91	0,93	0,92	0,50	0,68	0,98	0,55
2 и 3	1,00	0,66	0,61	0,66	0,67	0,16	0,63	0,63	0,82	-0,63	0,61	0,87	0,60
2 и 4	1,00	0,66	0,91	0,95	0,95	0,91	0,97	0,98	0,44	0,43	0,91	0,67	-0,23
2 и 5	1,00	0,98	0,93	0,96	0,95	0,92	0,95	0,96	0,72	0,77	0,93	0,93	0,56
3 и 4	1,00	0,71	0,61	0,85	0,87	-0,24	0,78	0,77	0,39	-0,65	0,61	0,78	-0,17
3 и 5	1,00	0,52	0,52	0,75	0,81	-0,09	0,70	0,71	0,92	-0,21	0,52	0,98	0,85
4 и 5	1,00	0,59	0,99	0,98	0,98	-0,90	0,98	0,98	0,70	0,33	0,99	0,95	0,36

Примечание: *выделенные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

в этом слое, хотя и менее заметны по сравнению с фотическим слоем, тем не менее, хорошо прослеживаются. Наименьшей связью с остальной акваторией характеризовался 3-й участок, наибольшее сходство (практически по всем характеристикам) отмечалось для участков 1 и 2 (табл. 7). Принимая во внимание максимальный вклад одного фактора (73 % от суммарной дисперсии), влияющего на изменчивость фитопигментов, становится очевидным, что этим фактором является глубина с оптимальным набором условий (освещенность, температура, концентрация биогенных элементов и пр.) для развития фитопланктона. Именно поэтому глубины расположения максимумов концентрации фитопигментов различаются по периодам исследований и по участкам залива. Отличие 3 участка (ст. 15) от остальных участков в апреле обусловлено заглублением до 50 м максимальных концентраций пигментных характеристик (рис. 5, а–в). В период сезонного минимума в условиях сформированного почти на всей акватории слоя температурного скачка с верхней границей в слое 6–15 м [21], препятствующего поступлению минеральных солей из глубоких слоев, максимум содержания пигментов смещался на глубину, преимущественно, 10 м (рис. 5, г–е). Осенью верхняя граница термоклина находилась в слое 10–40 м, максимальные концентрации пигментов смещались на глубину 10–30 м (рис. 5, ж–к).

Для изучения временной изменчивости вод был проведен анализ между рядами отдельных пигментных характеристик для раз-

Ключевые слова: залив Анива, фотосинтетические пигменты, фитопланктон

личных периодов вегетации фитопланктона, а также для лет, различающихся по гидрометеорологическим условиям. Исходные данные были сгруппированы по участкам и по периодам исследований. В большинстве сравниваемых вариантов коэффициенты корреляции были незначимы, что свидетельствует о значительной изменчивости картины пространственного распределения в разные сроки, а также может быть признаком своеобразия акватории залива в конкретный период времени. Только между данными, полученными в апреле и июне 2009 г., отмечена значимая отрицательная связь для абсолютных содержаний Хл a, Хл (a+b+c), Хл a_ч и К, а также для относительного содержания Хл b (-0,88 – -0,96 при $p < 0,05$ и $n = 48$). Отрицательные значения величин связи свидетельствуют о том, что повышенным уровням перечисленных пигментных характеристик на акватории залива в апреле соответствует синхронный спад значений в июне, связанный со значительным ослаблением процессов фотосинтеза в этот период.

Заключение

Впервые изучено содержание, сезонный ход и пространственное распределение Хл b, Хл c, Ф a и К на акватории зал. Анива.

По результатам исследований 2003–2012 гг. для сезонного хода абсолютных концентраций пигментов характерен весенний пик в апреле, низкий уровень и незначительная

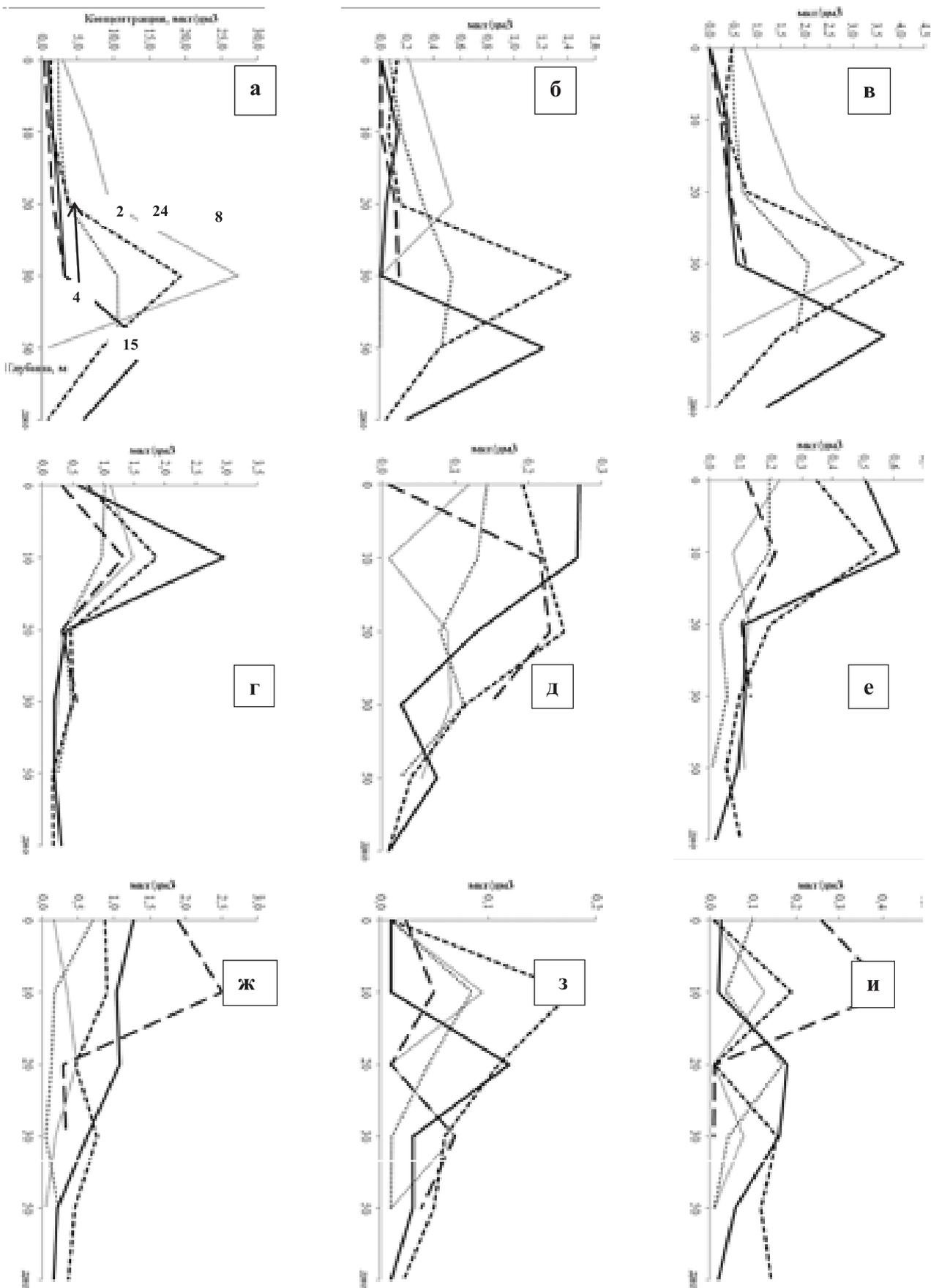


Рис. 5. Вертикальная изменчивость концентрации Хл а (а, г, ж), Хл б (б, д, з) и Хл с (в, е, и) в водах зал. Анива на отдельных станциях (апрель, июнь и октябрь 2009 г., соответственно).

изменчивость в период с мая по октябрь. Некоторый подъем их количества осенью в прибрежной части залива связан со своеобразием участка, подверженного наибольшему влиянию речных вод.

Содержание Хл *a* изменялось в пределах от 0,01 до 27,32 мкг/дм³. Среднее значение концентрации в период активной вегетации фитопланктона в целом для акватории залива было несколько выше (4,62 мкг/дм³) по сравнению с таковым для прибрежной его части (3,81 мкг/дм³) и сопоставимо с полученными в более ранних исследованиях величинами.

В период максимума сезонного развития фитопланктона доля Хл *a* составляла 60–90 % от суммарного количества пигментов, Хл *b* — 0–10 %, Хл *c* — 20–40 %. Содержание Ф *a* не превышало 20–40 %. В период минимума сезонной активности водорослей доля Хл *a* и Хл *c* уменьшалась до 40–80 % и 20–30 %, соответственно, Хл *b* увеличивалась до 10–30 %, содержание Ф *a* достигало 20–60 %.

Исследуемый комплекс фитопигментов не претерпел значительных изменений по содержанию и составу в период 2003–2012 гг.

Картина пространственного распределения значительно меняется в разные сроки, что является признаком своеобразия акватории залива в конкретный период времени. Наибольшая неравномерность пространственного распределения пигментов характерна для весеннего периода, наименьшая — летом и осенью. Более других по уровню и составу хлорофиллов отличались воды 1 и 2 участков от остальной водной массы залива.

Интенсивность развития фитопланктона изменялась в соответствии с определенным набором оптимальных условий. В период активной вегетации водорослей максимальные количества пигментов заглублялись до 50 м, в период сезонного минимума были отмечены в слое 0–10 м.

Трофический статус зал. Анива, оцениваемый на основе шкал трофности по концентрации Хл *a* [22], соответствует уровню мезотрофных водоемов весной и олиготрофных в летне–осенний период.

Качество воды в соответствии с комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши [23] соответствует классу качества II, разряду 2а «очень чистая». Снижение качества воды до класса II, разряда 2б «вполне чистая» и в единичных случаях до класса III, разряда 3а «достаточно чистая» может происходить локально

в период максимального развития фитопланктона.

Таким образом, на основе неизменности состава и содержания комплекса пигментных характеристик фитопланктона в период 2003–2012 гг. современное экологическое состояние зал. Анива можно оценить как благополучное. Однако необходимы дальнейшие исследования с целью формирования базы данных пигментных характеристик для выявления изменений структуры фитопланктонных сообществ и оценки продукционного потенциала акватории залива.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия вод. инженерам Л.Ю. Гавриной и И.Кен Хи, ст. инженеру И.А. Митракович, к.б.н. М.А. Ретиной за участие в отборе и анализе проб.

Литература

1. Кропотов С. И. Хлорофилл *a* и продукты его распада в водах Черного моря: сезонная и межгодовая изменчивость / С. И. Кропотов, О. В. Кривенко // Журнал общей биологии. 1999. Т. 60. № 5. С. 556–570.
2. Сигарева Л. Е. Пигментные критерии оценки экологического состояния водоемов // Биологические основы экологического нормирования. М.: Наука. 1993. С. 64–69.
3. Сигарева Л. Е. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды / Л. Е. Сигарева, О. А. Ляшенко // Водные ресурсы. 2004. № 4. С. 475–480.
4. Кириллова Т. В. Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры и образования. 2009. № 1 (13). С. 26–30.
5. Пропп Л. Н. Сезонные вариации соединений биогенных элементов и продукционных характеристик в водах залива Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. / Л. Н. Пропп, Л. Ю. Гаврина // Труды СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 111–155.
6. Гаврина Л. Ю. Сезонная изменчивость концентрации хлорофилл *a* в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям / Л. Ю. Гаврина, Ж. Р. Цхай, Г. В. Шевченко // Труды СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 156–178.
7. Коренева Т. Г. Пигменты фитопланктона в водах залива Анива / Т. Г. Коренева, Е. М. Латковская, Т. А. Могильникова // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты

- их переработки. Тезисы докладов четвертой международной научно-практической конференции. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2011. С. 44-45.
8. Садчиков А. П. Трансформация органического вещества бактериальным сообществом в водоемах разной трофности // Гибробиол. журнал. 2001. Т. 37, № 3. С. 87-92.
9. Сигарева Л. Е. Изучение связи содержания растительных пигментов в донных отложениях с показателями трофического состояния Горьковского водохранилища / Л. Е. Сигарева, Н. А. Тимофеева // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 6. С. 742-751.
10. Ляшенко О. А. Пигментные характеристики фитопланктона Угличского водохранилища // Биология внутренних вод. 2001. № 2. С. 77-84.
11. Минеева Н. М. Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах Верхней Волги (1994–2007 гг.) // Биология внутренних вод. 2006. № 1. С. 31-40.
12. Сигарева Л. Е. Растительные пигменты как показатели трансформации вод в каскаде Верхневолжских водохранилищ / Л. Е. Сигарева, И. Л. Пырина // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 4. С. 475-483.
13. Леонов А. В. Биотрансформация органогенных веществ в водах зал. Анива: оценка с помощью математического моделирования / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 4. С. 1–17.
14. ГОСТ 17.1.04.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 14 с.
15. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 92-97.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1973. С. 173-174.
17. Одум Ю. Основы экологии. М: Мир. 1975. С. 84-84.
18. Margalef R. Correspondence between the classic types of lakes and the structural and dynamic properties of their population // Verh. Int. Ver. theor. und angew. Limnol. 1964. V. 15. Pt. 1. P. 169-175.
19. Кантаков Г. А. Адвекция, вертикальная устойчивость вод и особенности пространственно-временного распределения фитопланктона в заливе Анива Охотского моря в 2001–2003 гг. / Г. А. Кантаков, И. В. Стоник, М. С. Селина, Т. Ю. Орлова // Труды СахНИРО. 2007. Т. 9. С. 295-324.
20. Отчет о результатах научных исследований на НИС «Дмитрий Песков» и у юго-западного побережья о. Сахалин в мае 2012 г. / СахНИРО; Отв. исполн. А. А. Крутченко. Ю-Сах., 2012. 59 с. Арх. № 11615.
21. Особенности океанографических условий залива Анива в 2009 году: Материалы научно-исследовательской работы / СахНИРО; отв. исп. О. В. Кусайло. Ю-Сах., 2009. 106 с. Арх. № 11124.
22. Бульон В. В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов / Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометииздат. 1993. С. 147-157.
23. Оксийок О. П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксийок, В. Н. Жукинский и др. // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 62-67.

T.G. Koreneva, E.M. Latkovskaya

CHARACTERISTICS OF WATER VARIABILITY IN THE ANIVA BAY IN CONTENT OF PHYTOPLANKTON PIGMENTS

Spatial-temporal variability of composition and content of phytoplankton pigments such as a, b, c chlorophylls, a pheophytin and carotenoids was studied based on data of 2003-2012 years for water of the Aniva Bay. Assessment of current state of the Bay was given.

Key words: the Aniva Bay, photosynthetic pigments, phytoplankton