

УДК 551.465(268.45)

ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ФИТОПЛАНКТОНА В ГУБАХ КАРЕЛЬСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

© 2021 г. М. В. Митяев¹, *, М. В. Герасимова¹, Е. И. Дружкова¹¹Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

*e-mail: mityaev@mmbi.info

Поступила в редакцию 06.07.2020 г.

После доработки 27.10.2020 г.

Принята к публикации 19.11.2020 г.

Осенью 2018 г. на Карельском побережье Белого моря проведены исследования взвешенного вещества и его органической составляющей в толще воды, а также их латеральных потоков. Концентрация взвешенного вещества изменялась от 0.42 до 0.93 мг/л, концентрация $C_{\text{орг}}$ — от 124 до 249 мкг/л. Пелагический фитоценоз в водном столбе был представлен 25 учетными таксонами микроводорослей, видовой состав сообщества изменялся от поверхности до дна. Значения латеральных потоков изменялись от 159 до 439 мкг через квадратный метр в час. В составе латеральных потоков выявлено 49 таксонов планктонных микроводорослей. Показано, что в зависимости от фазы приливо-отливного цикла меняется не только видовой состав фитопланктона, но и количественные характеристики его латерального потока. В прилив доля фитопланктонных организмов в латеральном потоке превышала 80%, в отлив была менее 55%. Таким образом, в фазу прилива во внутренние районы губ органического вещества поступает больше, чем выносится в фазу отлива.

Ключевые слова: взвешенное вещество, органическое вещество, фитопланктон, латеральный поток вещества, приливо-отливный цикл, Карельское побережье

DOI: 10.31857/S0030157421030102

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что исследования пространственно-временных изменений концентрации органического вещества (ОВ) в водной толще арктических морей многочисленны [2, 3, 16, 22], они до сих пор не потеряли своей актуальности. Взвешенное органическое вещество (ВОВ) играет важнейшую роль в жизнедеятельности морских организмов, является важным показателем экологического состояния вод, а также позволяет оценить биологический потенциал морских акваторий [4]. Однако при очевидной значимости данных о концентрации ВОВ в морской воде этот раздел океанологии до сих пор остается недостаточно изученным.

На акватории Белого моря основные исследования ОВ были выполнены во второй половине прошлого—начале нынешнего веков [1, 6, 7, 9, 13–15, 18, 26, 28]. Безусловно, в этих работах содержится много ценной информации о составе, концентрации и распределении ВОВ. При этом сведений об изменениях содержания ВОВ в столбе воды и его доли во взвеси явно недостаточно. Еще меньше в литературе данных о потоках ВОВ, как вертикальных, так и латеральных [8, 11, 19]. Таким образом, целью наших исследований было

оценить роль фитопланктона в латеральных потоках ОВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе полевых работ (26 сентября—1 октября 2018 г.) на Карельском побережье (рис. 1) были выполнены исследования латеральных потоков органического вещества и фитопланктона. Работы проводились в губах Чупе (26–27 сентября) и Медвежьей (30 сентября—1 октября). Отбор проб для исследования концентрации взвешенного вещества (ВВ) и фитопланктона осуществлялся на трех горизонтах (поверхностный (0.5 м), придонный (10 м) и промежуточный (5 м)). Работы проводились с борта резиновой шлюпки двухлитровым пластиковым батометром.

В лабораторных условиях определение концентрации ВВ осуществлялось методом фильтрации одного литра воды через предварительно взвешенные лавсановые фильтры с диаметром пор 0.45 мкм и диаметром рабочей поверхности 47 мм с последующей промывкой вещества дистиллированной водой. Фильтры со взвесью высушивались до постоянного веса при температуре 40–60°C и повторно взвешивались на электронных весах с точностью до 0.1 мг.

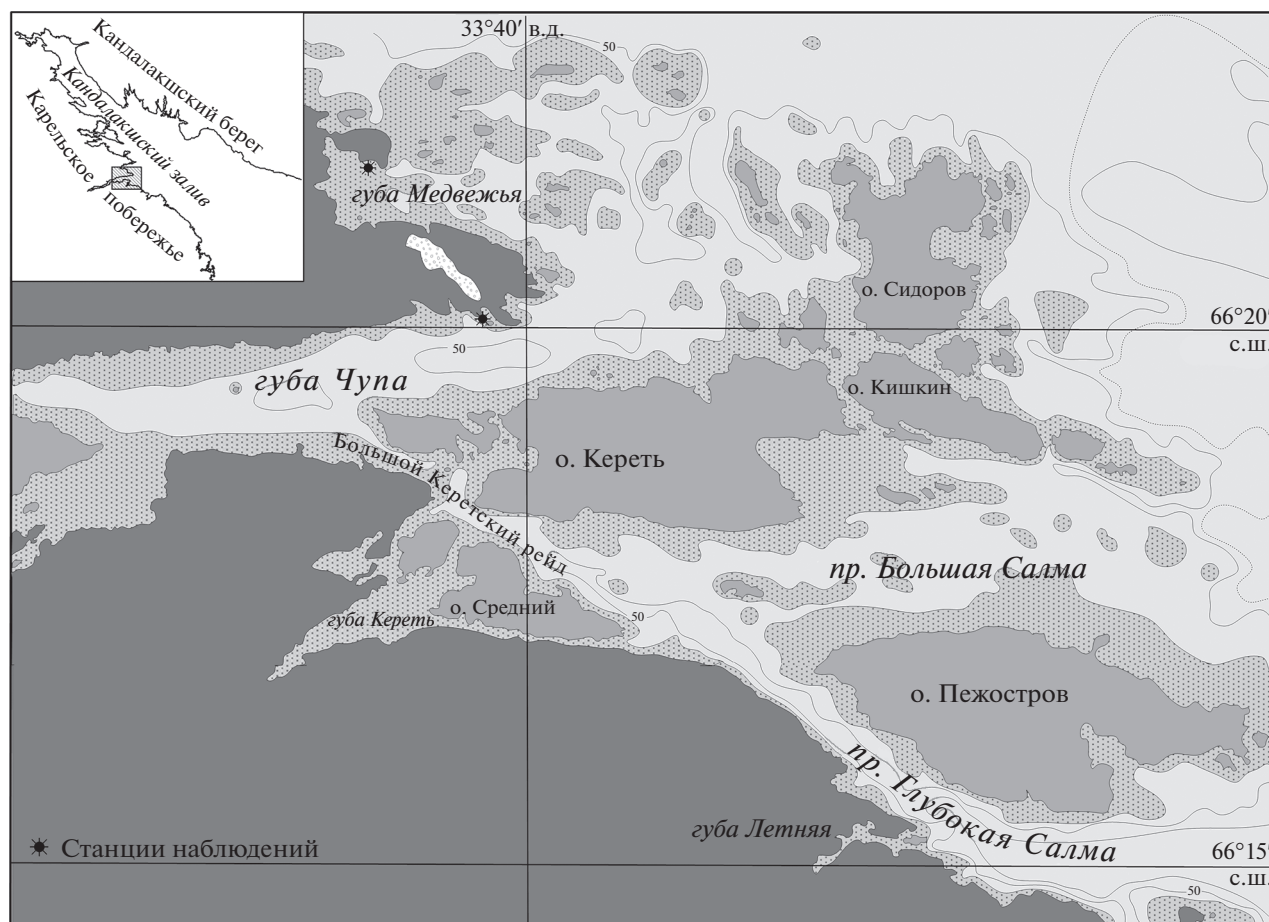


Рис. 1. Схема района работ.

Пробы для определения фитопланктона были зафиксированы 40% раствором нейтрального формалина (конечная концентрация 2%), далее сконцентрированы методом обратной фильтрации [24]. Таксономическое определение микроводорослей проводилось под световым микроскопом IxioImager D1 при увеличении $\times 400$ в камере Нажотта объемом 0.05 мл [23]. Расчет численности проводился по стандартной методике [25]. Биомасса вычислялась по таблицам средних клеточных весов баренцевоморских микроводорослей [27].

Необходимо отметить, что в ходе анализа учитывались таксоны, определенные до видового уровня и до рода, но последние только в том случае, когда их принадлежность к одному виду не вызывала сомнений, но при использовании стандартных методов определить их конкретную видовую принадлежность не представлялось возможным.

Латеральные потоки исследовались с помощью прибора учета латерального потока осадочного вещества (ПУЛПОВ). Прибор устанавливался в 4 м от морского дна (на глубине 9 м в отлив

и 10 м в прилив). Подробно прибор и метод его постановки описан в работе [21]. Объем приемной камеры прибора 3.3 л, $\frac{1}{2}$ объема использовалась для определения $S_{орг}$, $\frac{1}{2}$ объема для определения концентрации ВВ и $\frac{1}{2}$ объема для определения состава и концентрации фитопланктона. Определение концентрации ВВ и состава фитопланктона проводилось аналогично методам изучения их в толще воды.

Определение $S_{орг}$ осуществлялось методом биохроматного окисления вещества на стекловолнистых фильтрах (Labfilter, США) с диаметром пор 1 мкм (grade B). Подробно метод описан в работе В.Я. Бергера с соавторами [5].

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЕРИОДА РАБОТ

Исследования в губах проводились вдоль береговой линии на станциях с глубиной моря 13 м, в отлив. В конце сентября—начале октября 2018 г. на станции в губе Медвежья наблюдалась гомотермия водной толщи при очень постепенном снижении температуры с 8.2°C в поверхностном

до 7.9°C в придонном слое воды. Изменение солёности также было незначительным (менее 1‰), она постепенно увеличивалась с глубиной (от 22.8‰ в поверхностном до 23.7‰ в придонном слое воды). В губе Чупе наблюдалось более резкое изменение как температуры (с 8.5°C в поверхностном до 7.8°C в придонном слое), так и солёности воды (с 22.1 до 23.7‰ соответственно).

Таким образом, основные различия в температуре и солёности воды между точками отбора наблюдались в поверхностном слое (на 0.5°C и 0.7‰). В придонном слое (глубина 10–13 м) различий в солёности не было, а температуры различались на 0.1°C.

С 26 сентября по 1 октября 2018 г. среднесуточная температура воздуха в районе работ составляла 3.8°C, что близко к среднесуточным температурам в этот период года [12], среднесуточный градиент температур воздуха был около 2.7°C. Средняя скорость ветра — 5.2 м/с, при резком преобладании ветров западных румбов (северо-западных — около 35% и юго-западных — более 30%). Суммарная доля южных и северо-восточных ветров — менее 30%. Количество атмосферных осадков составило 16.8 мм, что в полтора раза больше нормы для этого времени года [12].

Таким образом, в период работ стояла сырая, прохладная, слабаветренная погода. На море наблюдалось небольшое волнение (высота волн не превышала 0.5 м). Вероятно, такая погода способствовала охлаждению и небольшому опреснению толщи воды (по сравнению с серединой сентября, когда температура воды превышала 11.5°C, а солёность воды была более 24.5‰).

ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ

В губе Медвежьей концентрация ВВ изменялась от 0.42 до 0.88 мг/л, в губе Чупе — от 0.78 до 0.93 мг/л. В обеих губах наблюдалось снижение концентрации ВВ от поверхности к пятиметровому горизонту с последующим увеличением концентрации в придонном слое. При этом в поверхностном горизонте концентрации ВВ не опускались ниже 0.6 мг/л, в придонном — ниже 0.8 мг/л. Необходимо отметить, что в обеих губах наблюдалась значительная разница по концентрации ВВ в поверхностном слое и на пятиметровом горизонте, в то время как в придонном слое концентрации ВВ в обеих губах были одинаковыми. Запас ВВ в столбе воды (на 1 м² от поверхности до дна) изменялся в зависимости от фазы приливо-отливного цикла (в губе Медвежьей от 7.82 до 8.43 г, в губе Чупе — от 10.83 до 11.48 г).

Концентрация $C_{\text{орг}}$ в обеих губах варьировала от 124 до 249 мкг/л. В отличие от ВВ максимальные концентрации $C_{\text{орг}}$ были приурочены к пяти-

метровому горизонту (более 180 мкг/л), в поверхностном и придонном горизонтах этот показатель не превышал 200 мкг/л. Запас органического вещества в столбе воды изменялся от 2706 до 3110 мкг/м².

ФИТОПЛАНКТОН В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ

Губа Медвежья. Осенью 2018 г. сообщество первичных продуцентов в пелагиали было представлено шестью отделами (включая фотосинтезирующую инфузорию *Myrionecta rubra*). Всего было выявлено 22 вида и надвидовых таксона, из них 6 диатомовых, 12 динофитовых и по одному виду криптофитовых, эвгленовых и золотистых водорослей (табл. 1).

Пространственное распределение как количественных характеристик сообщества фитопланктона, так и его таксономического состава было неоднородным. Так, в поверхностном горизонте общая численность составляла около 80 тыс. кл./л при биомассе около 400 мкг/л. Структурное ядро сообщества было представлено динофитовыми (7 видов) и диатомовыми (3 вида микрофитобентоса). В терминах относительного обилия преобладали гетеротрофные и миксотрофные динофлагелляты, формируя 94% численности и 70% биомассы сообщества микрофитопланктона. Столь высокие показатели достигались за счет развития группы беспанцирных динофлагеллят р. *Gymnodinium*, доля которых составила 98% и по численности, и по биомассе. Субдоминирующее положение (28% биомассы) в составе фитоценоза занимала автотрофная инфузория *Myrionecta rubra*.

На горизонте 5 м общая численность фитопланктона резко упала (до 5 тыс. кл./л при биомассе 44 мкг/л). Изменился и видовой состав фитоценоза. Из 3 зафиксированных видов диатомовых водорослей 2 принадлежали к микрофитобентосу. При этом общими с поверхностным горизонтом являлись только один вид диатомовых и 3 вида динофитовых водорослей (из 7 идентифицированных). Появилась золотистая водоросль *Dictyocha speculum*. Выраженного доминирования по численности в сообществе микроводорослей не прослеживалось, 29% приходилось на долю диатомовых, 22% — динофлагеллят, 24% — эвгленовых и 12% — *Myrionecta rubra*, причем вклад последней в совокупную биомассу сообщества составил 79%.

На горизонте 10 м численность фитопланктона снизилась до 2.6 тыс. кл./л при биомассе 102 мкг/л (82% которой приходилось на долю *Myrionecta rubra*). Вновь радикально изменился таксономический состав фитоценоза. Всего было идентифицировано 7 таксонов, среди них 1 бентосный вид диатомовых (*Grammatophora* sp.), который отсутствовал в верхних горизонтах. Полностью меняется и состав динофитовых водорослей

Таблица 1. Состав и биомасса (мкг/л) фитопланктона в толще воды губы Медвежьей, 01.10.2018 г.

Отдел	Таксоны	Горизонт		
		0 м	5 м	10 м
Bacillariophyta	Centrophyceae неидент.	2.49	—	—
	<i>Cocconeis</i> sp.	1.73	—	—
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	4.43	2.58	—
	<i>Diatoma vulgaris</i> v. <i>vulgaris</i>	0.237	—	—
	<i>Grammatophora</i> sp.	—	—	0.329
	<i>Licmophora</i> sp.	—	0.109	—
	<i>Nitzschia longissima</i>	—	0.387	—
	Pennatophyceae неидент.	—	2.13	1.75
	<i>Thalassiosira</i> spp.	—	0.092	—
Dinophyta	<i>Ceratium fusus</i>	—	—	3.68
	<i>Dinophysis acuminata</i>	0.554	0.322	—
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	2.33	—	6.12
	<i>Gonyaulax</i> sp.	—	—	2.81
	<i>Gymnodinium agiliforme</i>	0.132	0.077	—
	<i>Gymnodinium</i> sp.	273.7	1.68	—
	<i>Gyrodinium flagellare</i>	—	0.015	—
	<i>Gyrodinium fusus</i>	0.076	—	0.025
	<i>Gyrodinium lachryma</i>	—	0.101	—
	<i>Gyrodinium</i> spp.	1.11	—	—
	<i>Heterocapsa rotundata</i>	—	0.290	—
	<i>Protoperidinium</i> sp.	—	—	3.23
	<i>Prorocentrum balticum</i>	0.391	—	—
Euglenophyta	<i>Eutreptiella</i> sp.	0.382	0.518	—
Cryptophyta	<i>Plagioselmis prolunga</i>	0.259	0.082	—
Chrysophyta	<i>Dictyocha speculum</i>	—	1.11	—
Ciliates	<i>Myrionecta rubra</i>	112.0	34.90	84.02

(из пяти выявленных таксонов два были общими с поверхностным горизонтом, но не были обнаружены на горизонте 5 м). Их относительная биомасса составила около 15%. Абсолютно исчезли эвгленовые, золотистые и криптофитовые водоросли.

Таким образом, от поверхности к придонному горизонту наблюдалось постепенное снижение биомассы и биоразнообразия диатомовых водорослей с 8.89 до 2.08 мкг/л и с 3 до 1 вида (табл. 2). Изменение биомассы динофитовых водорослей и инфузорий происходило синхронно — от поверхности к 5-метровому горизонту наблюдалось снижение биомассы, при последующем ее увеличении в придонном слое воды. Количество таксонов динофитовых водорослей постепенно снижалось от поверхности ко дну (табл. 2).

При невысоком уровне биоразнообразия видовой состав на каждом из исследованных горизонтов значительно различался. Индекс видового

сходства Серенсена—Чекановского для горизонтов 0.5–5 м составил 0.4; 0.5–10 м — 0.35, а для горизонтов 5–10 м — 0.1. Следовательно, от поверхности ко дну происходило изменение не только количества учетных таксонов диатомовых и динофитовых водорослей, но и видового состава фитопланктона.

Доля фитопланктона в составе органического вещества уменьшалась от поверхностного к придонному горизонту. Так, в поверхностном слое воды доля фитопланктона превышала 30% (до 36%), на пятиметровом горизонте не превышала 20% (но не менее 17%), в придонном слое воды — менее 10%.

ЛАТЕРАЛЬНЫЙ ПОТОК ФИТОПЛАНКТОНА

Губа Медвежья. В латеральном потоке участвовало значительно больше видов и надвидовых таксонов фитопланктона, чем было выявлено

Таблица 2. Изменение биомассы и количества таксонов фитопланктона в толще воды губы Медвежьей, 01.10.2018 г.

Отдел	Биомасса, мкг/л			Число видов/таксонов		
	горизонты					
	0 м	5 м	10 м	0 м	5 м	10 м
Bacillariophyta	8.893	5.297	2.075	4/4	3/5	1/2
Dinophyta	278.3	2.489	15.863	6/7	6/6	5/5
Euglenophyta	0.382	0.518	0	1	1	0
Cryptophyta	0.259	0.082	0	1	1	0
Chrysophyta	0	1.112	0	0	1	0
Ciliates	112.0	34.90	84.02	1	1	1

при анализе пелагического фитоценоза по горизонтам: 24 таксона диатомовых, 16 таксонов динофитовых, по одному таксону эвгленовых, криптофитовых и золотистых водорослей, а также фотосинтезирующая инфузория (*Myrionecta rubra*) (табл. 3). В составе диатомовых преобладала группа микрофитобентоса, насчитывавшая 16 видов.

Наибольшее изменение наблюдалось у диатомовых водорослей. Если в толще воды было выявлено 6 таксонов, то в латеральном потоке дополнительно обнаружено еще 19. Из 24 выявленных таксонов диатомовых только 9 присутствовали как в фазу прилива, так и в фазу отлива, остальные 15 обнаруживались либо в фазе прилива, либо в фазе отлива. В фазу отлива в латеральном потоке диатомовые водоросли доминировали (табл. 4). Они были представлены 22 таксонами (11 из них — микрофитобентос), при значении потока около 17 мг через один квадратный метр в час. В фазу прилива в латеральном потоке изменился состав диатомовых водорослей, количество таксонов уменьшилось до 19 (9 — микрофитобентос), при этом 9 таксонов, обнаруженных в фазу отлива, в прилив не были выявлены, но дополнительно были определены 6 таксонов. Значение потока увеличивалось в 1.5 раза и составило более 25.5 мг через один квадратный метр в час, но доля диатомовых водорослей в общем потоке фитопланктона снизилась до 31% (табл. 4).

Приливо-отливные потоки динофитовых водорослей были менее подвержены изменению, чем потоки диатомовых, но, тем не менее, они существенны. Если в толще воды было выявлено 13 таксонов динофлагеллят, то в латеральном потоке дополнительно обнаружено еще 4 таксона (табл. 3), при этом один вид *Prorocentrum balticum*, выявленный в поверхностном слое воды, не участвовал в латеральном потоке. Из 17 зафиксированных в латеральном потоке таксонов динофитовых водорослей только 5 присутствовали как в фазу прилива, так и в фазу отлива, остальные

12 обнаруживались либо в фазе прилива, либо в фазе отлива (табл. 3).

В фазу отлива в латеральном потоке доля динофитовых водорослей составляла около 23% (при этом более 1/3 приходилось на один вид — *Protoperidinium pallidum*). Динофлагелляты были представлены 11 таксонами при значении потока около 8.3 мг через один квадратный метр в час. В фазу прилива в латеральном потоке меняется состав динофитовых водорослей: хотя общее количество таксонов оставалось постоянным, 6 таксонов, обнаруженные в фазу отлива, в прилив выявлены не были, но при этом были зафиксированы 6 новых таксонов. Значение потока увеличилось в 5 раз и составило 41.5 мг через один квадратный метр в час, а доля динофитовых в общем потоке фитопланктона в фазу прилива увеличилась до 51.5% (при этом более 3/4 приходится на один вид — *Protoperidinium pallidum*).

В латеральном потоке, в отличие от толщи воды, фотосинтезирующая инфузория *Myrionecta rubra* не являлась абсолютным доминантом. В приливную и отливную фазу значения потока *Ciliates* в абсолютных значениях изменялась незначительно (не более 8%), но ее вклад в общий поток фитопланктона в фазу отлива составлял почти 22.5%, а в фазу прилива — менее 11%.

Еще один вид фитопланктона, который играл существенную роль в латеральном потоке — это *Dictyocha speculum*. В приливную и отливную фазу значения потока *Chrysophyta* в абсолютных цифрах изменялись в 2 раза, но ее вклад в общий поток фитопланктона в приливо-отливном цикле был стабильным и составлял 5.8–6.4%.

Кроме вышеупомянутых, еще два вида микроводорослей *Eutreptiella* sp. и *Plagioselmis prolunga* участвовали в латеральном потоке, но их вклад не превышал 0.5%. В абсолютных значениях латеральный поток этих водорослей в фазу отлива был менее 0.25 мг, в фазу прилива — менее 0.15 мг через один квадратный метр в час.

Таблица 3. Фитопланктон в латеральных потоках губы Медвежьей, 01.10.18 г.

Отдел	Виды-таксоны	Отлив, мкг/м ² час	Прилив, мкг/м ² час
Bacillariophyta	<i>Asterionellopsis formosa</i>	16	—
	<i>Amphiprora ornata</i>	—	80
	<i>Amphiprora</i> sp.	—	531
	<i>Centrales</i>	6139	2598
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	112	102
	<i>Chaetoceros</i> sp.	58	89
	<i>Cocconeis</i> sp.	1548	—
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	1785	—
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	—	23
	<i>Diatoma vulgaris</i> v. <i>vulgaris</i>	238	486
	<i>Ditylum brightwellii</i>	1537	1566
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	22	—
	<i>Fragillaria</i> sp.	1104	—
	<i>Grammatophora</i> sp.	160	—
	<i>Gyrosigma fasciola</i>	—	172
	<i>Lennoxia faveolata</i>	89	—
	<i>Licmophora</i> sp.	75	204
	<i>Melosira</i> sp.	471	—
	<i>Nitzschia longissima</i>	402	454
	<i>Paralia sulcata</i>	22	357
	<i>Pennales</i>	523	5891
	<i>Pleurosigma angulatum</i>	—	284
	<i>Tabellaria fenestrata</i>	300	672
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	112	305
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	15	100
	<i>Thalassiosira gravis</i> (споры)	—	742
	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	121	—
	<i>Thalassiosira</i> spp.	2175	10906
Dinophyta	<i>Amphidinium</i> sp.	10	5
	<i>Amphidinium sphaenoides</i>	—	7
	<i>Ceratium fusus</i>	251	1022
	<i>Dinophysis acuminata</i>	595	—
	<i>Gonyaulax</i> sp.	191	1168
	<i>Gymnodinium</i> sp.	2402	2015
	<i>Gyrodinium flagellare</i>	—	5
	<i>Gyrodinium fusus</i>	—	42
	<i>Gyrodinium lachryma</i>	279	—
	<i>Gyrodinium</i> spp.	205	—
	<i>Heterocapsa rotundata</i>	—	68
	<i>Heterocapsa triquetra</i>	—	167
	<i>Protoperidinium bipes</i>	16	—
	<i>Protoperidinium depressum</i>	—	31058
	<i>Protoperidinium pallidum</i>	3825	6233
	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	97	—
	<i>Protoperidinium</i> spp. (споры)	409	—
Euglenophyta	<i>Eutreptiella</i> sp.	126	96
Cryptophyta	<i>Plagioselmis prolunga</i>	114	19
Chrysophyta	<i>Dictyocha speculum</i>	2309	4703
Ciliates	<i>Myrionecta rubra</i>	8053	8748

Таблица 4. Латеральный поток фитопланктона в губе Медвежьей, 01.10.2018 г.

Отдел	Отлив	Прилив	Отлив	Прилив	Отлив	Прилив
	мг/м ² час		%		число видов/таксонов	
Bacillariophyta	17.03	25.56	47.4	31.6	17/22	14/19
Dinophyta	8.28	41.79	23.1	51.6	9/11	10/11
Euglenophyta	0.13	0.10	0.4	0.1	1	1
Cryptophyta	0.11	0.02	0.3	0.0	1	1
Chrysophyta	2.31	4.70	6.4	5.8	1	1
Ciliates	8.05	8.75	22.4	10.8	1	1

Губа Чупа. В латеральном потоке губы Чупы было выявлено значительно меньше таксонов, чем в губе Медвежьей. Всего было зафиксировано 15 таксонов диатомовых и 10 таксонов динофитовых водорослей, что в первом случае почти в 2 раза, а во втором — в 1.5 раза меньше, чем в соседней губе. Также как и в губе Медвежьей, в губе Чупе присутствовали по одному таксону эвгленовых, криптофитовых и золотистых водорослей и фотосинтезирующая инфузория *Myrionecta rubra* (табл. 5).

Различия латеральных потоков губ Чупы и Медвежьей выражены не только в количестве таксонов фитопланктона, но и в весовых показателях (табл. 6). В первой в отливную фазу через один квадратный метр перемещалось в 3–5 раз меньше диатомовых и динофитовых водорослей. Аналогичные значения для других видов фитопланктона были ниже в 1.5–2.5 раза (табл. 4, 6). В приливную фазу наиболее значительные различия между потоками фитопланктона в губах наблюдались у динофлагеллят — в губе Чупе в прилив их поток снижался примерно на 10% и был почти в 20 раз меньше, чем в губе Медвежьей. Поведение потоков диатомовых водорослей в обеих губах было одинаковым (хотя абсолютные значения сильно различались), но если в губе Медвежьей в прилив значение потока увеличивалось всего в 1.5 раза, то в губе Чупе — почти в 4 раза. В прилив вклад диатомовых водорослей в общий поток в обеих губах сопоставим (более 30%), в отлив их вклад различался более чем в 2 раза (в губе Медвежьей более 47%, а в губе Чупе менее 20%).

Резко различался вклад *Myrionecta rubra* в общий поток планктона. Так, в губе Чупе в течение всего приливо-отливного цикла более 59% латерального потока составляла *Myrionecta rubra*, а в губе Медвежьей ее вклад не превышал 23%. Абсолютные значения потока Ciliates в губе Чупе в прилив — в 3 раза, а в отлив — в 1.5 раза больше, чем в губе Медвежьей.

В фазу отлива в латеральном потоке диатомовые водоросли в губе были представлены 9 таксонами, при значении потока 3.75 мг через один квадратный метр в час. В фазу прилива в лате-

ральном потоке менялся состав диатомовых, количество таксонов увеличилось до 10, при этом 5, обнаруженные в фазу отлива, в прилив не были выявлены, но 6 таксонов были определены дополнительно (табл. 5). В приливную фазу значение потока диатомовых водорослей превышало 14 мг через один квадратный метр в час, а их доля в общем потоке фитопланктона увеличилась до 35%. При этом более 50% всего потока диатомовых водорослей приходится на 2 таксона (*Grammatophora* sp. — 27%, *Coscinodiscus* sp. — 26%).

В фазу отлива в латеральном потоке доля динофитовых водорослей не превышала 14% (при этом почти половина приходилась на один таксон — *Gonyaulax* sp.). Динофлагелляты были представлены 6 таксонами, при значении потока около 2.6 мг через один квадратный метр в час (табл. 6). В фазу прилива в латеральном потоке количество таксонов динофитовых оставалось неизменным, но при этом изменился видовой состав: 4 таксона из обнаруженных в фазу отлива в прилив не были выявлены, но появилось 4 новых таксона. Значение потока менялось незначительно (по сравнению с отливом) и составило 2.3 мг через один квадратный метр в час. В латеральном потоке динофитовых водорослей доминировали два таксона (*Gonyaulax* sp. и *Gymnodinium* sp.), выявленные и в приливную, и отливную фазы (их совместная доля более 61%).

В латеральном потоке отливной фазы *Dictyocha speculum* играла существенную роль, ее вклад в общий поток фитопланктона составил 6.4% (аналогичные показатели были характерны и для соседней губы), но в приливную фазу данный вид не был обнаружен.

Также как и в губе Медвежьей, в губе Чупе в латеральном потоке участвовали еще два вида микроводорослей — *Eutreptiella* sp. и *Plagioselmis prolunga*, доля которых в общем потоке фитопланктона составляла не более 0.5%. В абсолютных значениях латеральный поток этих водорослей и в фазу отлива, и в фазу прилива не превышал 0.1 мг через квадратный метр в час (табл. 6).

Таблица 5. Фитопланктон в латеральных потоках губы Чупы, 26.09.2018 г.

Отдел	Виды-таксоны	Отлив, мкг/м ² час	Прилив, мкг/м ² час
Bacillariophyta	<i>Centrales</i>	380	2403
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	—	3738
	<i>Fragillaria</i> sp.	57	—
	<i>Grammatophora</i> sp.	—	3864
	<i>Gyrosigma fasciola</i>	528	—
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	—	18
	<i>Licmophora</i> sp.	—	315
	<i>Melosira arctica</i>	173	—
	<i>Navicula</i> sp.	—	68
	<i>Paralia sulcata</i>	229	295
	<i>Pennales</i>	1811	2718
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	156	—
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	—	88
	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	78	—
	<i>Thalassiosira</i> spp.	343	766
Dinophyta	<i>Ceratium fusus</i>	—	451
	<i>Dinophysis acuminata</i>	—	267
	<i>Gonyaulax</i> sp.	1197	687
	<i>Gymnodinium</i> sp.	516	722
	<i>Gyrodinium fusus</i>	—	37
	<i>Gyrodinium</i> spp.	—	134
	<i>Heterocapsa rotundata</i>	175	—
	<i>Heterocapsa triquetra</i>	107	—
	<i>Protoperidinium</i> sp.	107	—
	<i>Scripsiella trochoidea</i>	487	—
Euglenophyta	<i>Eutreptiella</i> sp.	66	—
Cryptophyta	<i>Plagioselmis prolonga</i>	40	91
Chrysophyta	<i>Dictyocha speculum</i>	1204	—
Ciliates	<i>Myrionecta rubra</i>	11198	24095

Таблица 6. Латеральный поток фитопланктона в губе Чупе, 26.09.2018 г.

Отдел	Отлив	Прилив	Отлив	Прилив	Отлив	Прилив
	мг/м ² час		%		число видов/таксонов	
Bacillariophyta	3.75	14.28	19.9	35.0	7/9	8/10
Dinophyta	2.59	2.30	13.8	5.6	6/6	5/6
Euglenophyta	0.07	0.00	0.3	0	1	0
Cryptophyta	0.04	0.09	0.2	0.2	1	1
Chrysophyta	1.20	0.00	6.4	0	1	0
Ciliates	11.20	24.10	59.4	59.2	1	1

ЛАТЕРАЛЬНЫЙ ПОТОК ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

В губе Медвежьей латеральный поток ВВ в фазу отлива составлял 439 мкг, а поток $C_{\text{орг}}$ — 142 мкг через квадратный метр в час. Таким образом, в составе латерального потока ВВ органическое ве-

щество (ОВ) преобладало (более 64%). При этом только $\frac{1}{3}$ органического углерода в латеральном потоке приходилось на фитопланктон (около 47.5 мкг), следовательно, более 65% органического углерода было иного происхождения. Возможно, что это ОВ имело терригенный генезис [17] и/или являлось детритом планктона. В фазу при-

лива латеральный поток ВВ составлял 323 мкг через квадратный метр в час, хотя поток $C_{орг}$ уменьшился до 109 мкг через квадратный метр в час, его доля в потоке была больше, чем в фазу отлива (почти 67%). При этом почти $\frac{3}{4}$ органического углерода приходилось на фитопланктон (около 80.5 мкг), а на ОВ иного происхождения — 26%.

В губе Чупе латеральный поток ВВ в фазу отлива составлял 229 мкг, а поток $C_{орг}$ — 74 мкг через квадратный метр в час. Если латеральный поток ВВ в губе был почти в два раза меньше, чем в соседней губе, то доля ОВ в обеих губах была идентична (64%). При этом более половины (около 39.5 мкг или более 54%) органического углерода в латеральном потоке приходилось на фитопланктон, следовательно, только 45% органического углерода имело иное происхождение. В фазу прилива латеральный поток ВВ составлял 159 мкг через квадратный метр в час. Хотя поток $C_{орг}$ уменьшился до 71 мкг через квадратный метр в час, его доля в латеральном потоке была значительно больше, чем в фазу отлива (более 88%). При этом на фитопланктон приходилось почти 81% от всего органического углерода (около 57.5 мкг), а на ОВ иного происхождения — менее 19%.

Таким образом, несмотря на различия в масштабах латерального потока ВВ в соседних губах, в их составе резко преобладает ОВ, что, несомненно, связано с составом ВВ, в котором всегда биогенная составляющая преобладает над литогенной [20, 21]. В обеих губах в фазу прилива поступает ОВ больше, чем выносится в фазу отлива, а в его составе резко преобладают фитопланктонные организмы. В фазу отлива 45–65% ОВ приходится на терригенное органическое вещество и продукты жизнедеятельности планктона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, выделим главные, на наш взгляд, результаты исследования. Средняя концентрация взвешенного вещества и его органической составляющей в толще воды двух губ Карельского побережья осенью 2018 г. была типичной для прибрежных вод Кандалакшского залива Белого моря и не отличалась от среднеевропейских значений этих показателей для района исследований [10, 19, 20]. Это позволяет рассматривать латеральные потоки ВОВ как типичные для района в осенний период года. Выявлено, что латеральные потоки ВОВ и планктона в береговой зоне неразрывно связаны с приливо-отливными течениями. Так как приливо-отливные течения являются основным фактором перераспределения ВОВ внутри заливов, то большие различия в значениях разнонаправленных латеральных потоков указывают на неравномерное распределение фитопланктона в прибрежной акватории моря, а следовательно,

различное энергетическое обеспечение приливной и отливной составляющей единого приливо-отливного цикла. В зависимости от фазы цикла меняются не только количественные характеристики латерального потока фитопланктона, но и его видовой состав. Если в точках исследования от поверхности до дна через сечение в один метр за сутки поток энергии можно оценить в 350–450 Ккал, то в фазу прилива в прибрежную зону поступает в два раза больше энергии, чем возвращается обратно в открытую акваторию моря.

Получение количественных данных по перераспределению ОВ между открытыми акваториями и краевыми бассейнами позволяет оценивать энергетический потенциал, как отдельных краевых акваторий (губ), так и Кандалакшского залива в целом, что представляет интерес при рациональном использовании и развитии аквакультуры прибрежных акваторий.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников ББС ЗИН РАН “Картеш” д.б.н. В.Я. Бергера, Е.И. Лихареву, заведующего станцией к.б.н. А.А. Сухотина за помощь в выполнении работ.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агатова А.И., Кирпичев К.Б.* Органическое вещество Белого моря. Межгодовая изменчивость распределения органического вещества в Белом море // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 6. С. 840–844.
2. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Органическое вещество в водах арктических морей // *Арктика и Антарктика*. Вып. 1 (35). М.: Наука, 2002. С. 172–192.
3. *Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И.* Органическое вещество в экосистемах Арктического бассейна в современных условиях // *Докл. РАН*. 2010. Т. 432. № 5. С. 693–697.
4. *Бергер В.Я.* Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. СПб: Изд-во ЗИН РАН, 2007. Т. 60 (68). 292 с.
5. *Бергер В.Я., Митяев М.В., Сухотин А.А.* Опыт использования метода мокрого сжигания для определения концентрации взвешенных органических веществ в морской воде // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 2. С. 328–332.
6. *Гогорев Р.М.* Сезонные изменения фитопланктона губы Чупа Белого моря // *Новости систематики низших растений*. 2005. Т. 38. С. 38–47.
7. *Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др.* Мониторинг приливо-отливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.
8. *Дриц А.В., Пастернак А.Ф., Кравчишина М.Д. и др.* Роль планктона в вертикальном потоке вещества на шельфе Восточно-Сибирского моря // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 5. С. 746–754.

9. Ильяш Л.В., Радченко И.Г., Кузнецов Л.Л. и др. Пространственная вариабельность состава, обилия и продукции фитопланктона Белого моря в конце лета // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 1. С. 24–32.
10. Ильяш Л.В., Ратькова Т.Н., Радченко И.Г., Житина Л.С. Фитопланктон Белого моря // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Под ред. Лисицына А.П., Немировской И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 605–639.
11. Ильяш Л.В., Радченко И.Г., Новигатский А.Н. и др. Вертикальный поток фитопланктона и осадочного вещества в Белом море по данным длительной экспозиции седиментационных ловушек // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 2. С. 216–224.
12. *Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы* / Под ред. Филатова Н.Н. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. 224 с.
13. Кособокова К.Н., Пантюлин А.Н., Рахор А. и др. Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 2. С. 313–320.
14. Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна. Структура сообществ, экология, закономерности распределения. М.: ГЕОС, 2012. 272 с.
15. Кравчишина М.Д., Мицкевич И.Н., Веслополова Е.Ф. и др. Взаимосвязь взвеси и микроорганизмов в водах Белого моря // *Океанология*. 2008. Т. 48. № 6. С. 900–917.
16. Леин А.Ю., Кравчишина М.Д., Политова Н.В. и др. Трансформация взвешенного органического вещества на границе вода–дно в морях Российской Арктики (по изотопным и радиоизотопным данным) // *Литология и полез. ископаемые*. 2012. № 2. С. 115–145.
17. Леонов А.В., Чичерина О.В. Вынос биогенного вещества в Белое море с речным стоком // *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31. № 2. С. 237–253.
18. Лукашин В.Н., Кособокова К.Н., Шевченко В.П. и др. Результаты комплексных океанографических исследований в Белом море июне 2000 г. // *Океанология*. 2003. Т. 43. № 2. С. 237–253.
19. Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружкова Е.И. Вертикальные потоки осадочного вещества в прибрежных районах Баренцева и Белого морей // *Океанология*, 2012. Т. 52. № 1. С. 121–130.
20. Митяев М.В., Герасимова М.В., Бергер В.Я. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества в заливах Мурманского берега Баренцева моря и Карельского берега Белого моря // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 2. С. 339–347.
21. Митяев М.В. Прибор учета латерального потока осадочного вещества // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 5. С. 870–874.
22. Романкевич Е.А., Данюшевская А.И., Беляева А.Н., Русанов В.П. Биогеохимия органического вещества арктических морей. М.: Наука, 1982. 239 с.
23. Сорокин Ю.И. К методике концентрирования фитопланктона // *Гидробиологический журн.* 1979. Т. 15. № 2. С. 71–76.
24. Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // *Современные методы количественной оценки распределения морского планктона*. М.: Наука, 1983. С. 97–108.
25. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 168 с.
26. Agatova A.I., Torgunova N.I., Lapina N.M., Kirpichev K.B. Organic matter and its biochemical composition in various ecosystems of the White Sea // *Oceanology*. 2003. V. 43. P. 573–584.
27. Makarevich P.R., Larionov V.V., Druzhkov N.V. Mean weights of dominant phytoplankton species of the Barents Sea // *Альгология*. 1993. Т. 13. № 1. С. 103–106.
28. Shevchenko V.P., Dolotov Y.S., Filatov N.N. et al. Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2005. V. 9. P. 57–66.

Lateral Flows of Phytoplankton in the Bays of the Karelian Coast

M. V. Mityaev^{a, #}, M. V. Gerasimova^a, E. I. Druzhkova^a

^a*Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk, Russia*

[#]*e-mail: mityaev@mmbi.info*

In the fall of 2018, studies of suspended matter and its organic part in the water column and their lateral flux on the Karelian coast of the White Sea were carried out. The concentration of suspended particulate matter varied from 0.42 to 0.93 µg/L, and the concentration of C_{org} ranged from 124 to 249 µg/L. In the water column, 25 registration taxa of phytoplankton were recorded; it was shown that its species composition changed from the surface to the bottom. The lateral flux values varied from 159 to 439 µg per square meter per hour. As a part of lateral flux, 49 phytoplankton taxa were revealed. It was shown that, depending on the phase of the tidal cycle, not only the quantitative characteristics of the lateral flux of phytoplankton change, but also the species composition of microalgae. In the tidal phase, more organic matter enters the inner regions of the lips than is carried out from these areas to the low tide phase. At high tide, the proportion of phytoplankton organisms in the lateral flux is more than 80%, at low tide it is less than 55%.

Keywords: suspended particulate matter (SPM), organic matter, phytoplankton, lateral flux of SPM, tidal cycle, Karelian coast