

УДК 574.583

## СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В ОБЛАСТИ ПОЛЯРНОГО ФРОНТА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В КОНЦЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА

© 2018 г. В. М. Сергеева<sup>1, \*</sup>, Л. С. Житина<sup>2</sup>, С. А. Мошаров<sup>1</sup>,  
А. А. Недоспасов<sup>1</sup>, А. А. Полухин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, Москва, Россия

\*e-mail: vsergeeva@gmail.com

Поступила в редакцию 29.11.2016 г.

После доработки 24.01.2018 г.

На основании материала, собранного в октябре 2014 г. в южной области Полярного фронта восточной части Баренцева моря, проведен анализ пространственных изменений структуры фитопланктонного сообщества в связи с гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками водной толщи. В конце вегетационного периода концентрация биогенных элементов в верхнем перемешанном слое была выше лимитирующего уровня. На всем исследованном участке доминировали кокколитофориды (*Emiliania huxleyi* и *Discosphaera* cf. *tubifer*). Максимальные значения их численности и биомассы достигали 90.4 млн кл/м<sup>3</sup> и 30.8 мгС/м<sup>3</sup>, составляя до 82% в общей численности и 93% в общей биомассе фитопланктона. В западной части полигона прослеживалось более сильное влияние трансформированных вод атлантического происхождения. Число видов в фитопланктонном сообществе здесь было в 1.5–2 раза ниже, чем в восточной части. В восточной части появление крупных динофлагеллят родов *Neoceratium* и *Dinophysis*, более низкие значения концентрации хлорофилла “а”, более высокая доля феофитина в сумме пигментов хлорофилл + феофитин, повышенное содержание аммонийного азота в верхнем перемешанном слое свидетельствовали о том, что в этой области фитопланктон находился на более поздней стадии сезонной сукцессии по сравнению с западной частью.

DOI: 10.1134/S0030157418050143

### ВВЕДЕНИЕ

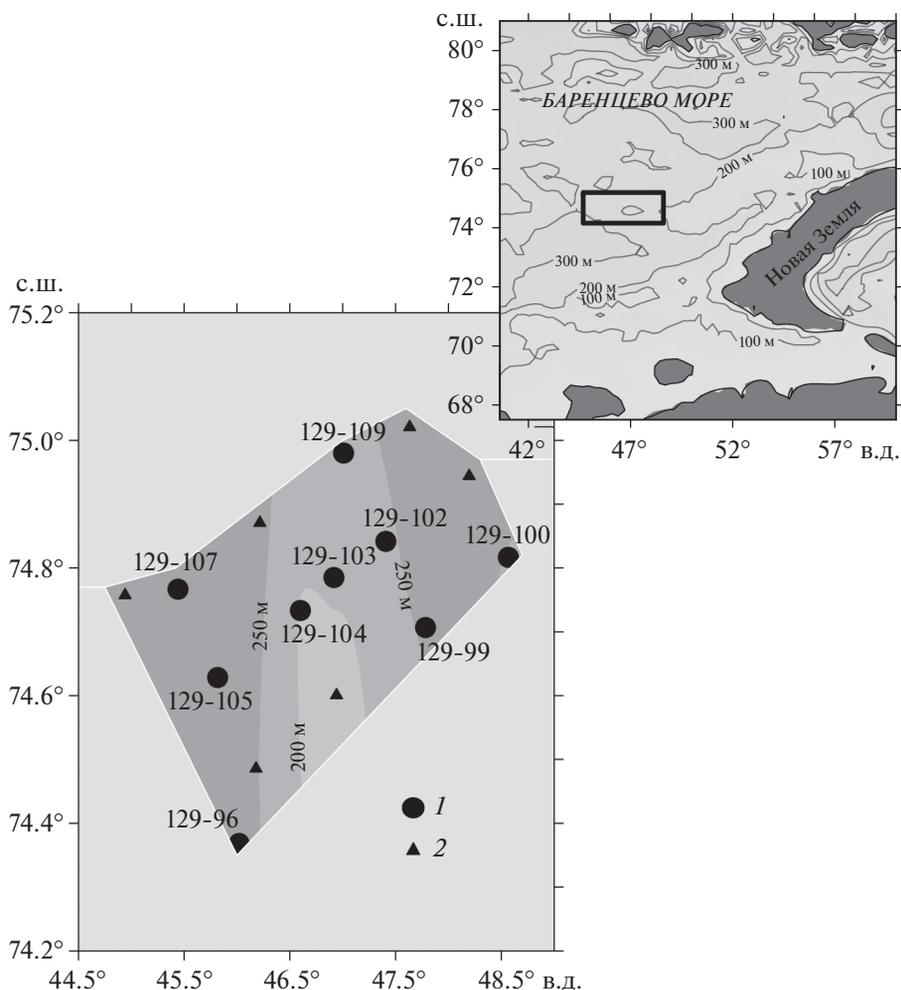
Уникальность баренцевоморского шельфа обусловлена сочетанием свойств, характерных для высокоширотных экосистем, таких как значительная сезонная изменчивость ледового покрова и солнечной инсоляции, и адвекцией на баренцевоморский шельф сравнительно более теплых, соленых, обогащенных биогенными элементами вод атлантического происхождения [22]. Взаимодействие холодных арктических и теплых атлантических вод образует область Полярного фронта. В западной части Баренцева моря эта область имеет более четкие границы и положение [17]. В восточной части выделяют южную и северную области Полярного фронта [20]. В южной области Полярного фронта наблюдается горизонтальный градиент температуры без заметных изменений солености, в северной — плотностной градиент возникает из-за изменений солености.

Исследования функционирования планктонных сообществ фронтальных разделов, показали,

что эти области часто являются биологически высокопродуктивными [9–11]. Здесь возникают особые условия вертикального перемешивания и подтока биогенных элементов [11].

Планктонные микроводоросли в области Полярного фронта Баренцева моря исследовались довольно интенсивно в весенний и летний сезоны в основном в западной части баренцевоморского шельфа [1, 7, 8, 12, 13, 15, 19, 21, 23, 24, 26–28]. Структура и количественные показатели фитопланктонного сообщества в конце вегетационного сезона мало изучены, однако оценка этих характеристик важна для понимания годового цикла органического вещества в арктических водах.

Целью данной работы было исследование видового состава и пространственного распределения фитопланктона в области Полярного фронта в относительно мало изученной восточной части Баренцева моря в терминальной стадии вегетационного сезона.



**Рис. 1.** Карта района исследования и расположение станций. 1 – Станции, где проводился отбор проб фитопланктона, 2 – станции с дополнительными гидрологическими исследованиями.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал был собран в ходе рейса НИС “Профессор Штокман” в осенний период с 5 по 8 октября 2014 г. Район исследований включал восточную часть центрального шельфа Баренцева моря с глубинами 170–310 м в пределах координат  $74^{\circ}22.1'–75^{\circ}1.4'$  с.ш. и  $44^{\circ}56.5'–48^{\circ}34'$  в.д. (рис. 1).

Пробы отбирали 5-ти литровыми батометрами Нискина комплекса “Rozette” по 4-м–5-ти горизонтам, охватившим весь эвфотический слой (верхние 40–50 м) с учетом вертикального распределения солёности, температуры, флуоресценции и глубины прозрачности по диску Секки. Пробы отбирали в поверхностном слое, по 2-м–3-м горизонтам в промежуточном слое, и над пикноклином, образованным поверхностными водами и водами атлантического происхождения. Всего было отобрано 37 проб с 9 станций. На трех станциях исследовали вертикальную структуру

фитопланктона, на остальных станциях пробы воды интегрировали.

Далее каждую пробу объемом 2 л концентрировали методом обратной фильтрации через лавсановые фильтры с диаметром пор 1 мкм до 50–70 мл и фиксировали нейтральным раствором формалина (конечная концентрация 0.5–1%). Расчет численности и биомассы фитопланктона проводили по стандартным методикам, принятым в Институте океанологии им. П.П. Ширшова. При этом учитывали весь размерный диапазон планктонных микроводорослей, линейный размер которых превышал 1 мкм. Пересчет сырой биомассы в углерод проводили по аллометрическим зависимостям [18]. Из дальнейшего анализа численности и биомассы фитопланктона исключили группу мелких неидентифицированных флагеллят <5 мкм. Эта группа была встречена на 4-х станциях в разных частях полигона, и высокая вариабельность численности неидентифицированных жгутиковых <5 мкм затрудняла анализ пространственно-

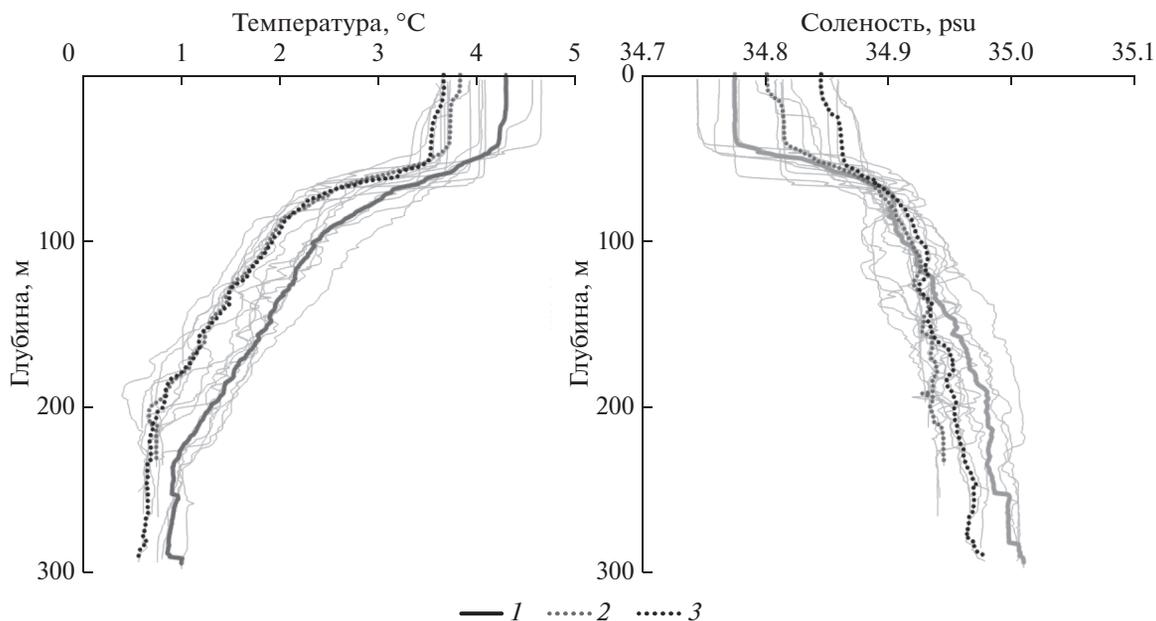


Рис. 2. Профили вертикального распределения температуры и солености и их средние значения. 1 – В западной, 2 – в центральной, 3 – в восточной частях полигона в октябре 2014 г.

го распределения других групп микроводорослей. Доля этой группы в общей биомассе фитопланктона была близка к 0.

Для определения концентрации хлорофилла “а” (хл “а”) использовали стандартную методику [25]. Флуоресценцию экстрактов определяли, используя флуориметр Trilogy Turner Designs (США), концентрации хл “а” и феофитина рассчитывали по стандартным зависимостям [14].

В работе были использованы полученные параллельно с отбором фитопланктона данные по концентрации биогенных элементов, вертикальному распределению температуры и солености.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Гидрологические особенности.** Пространственное распределение гидрофизических параметров на исследованном участке в начале октября 2014 г. было неравномерным (рис. 2).

Анализ вертикальной структуры водного столба во время работ на полигоне и многолетних данных распределения гидрофизических характеристик в верхнем слое в октябре (рис. 3) позволяет заключить, что полигон исследования был расположен в южной области Полярного фронта.

Горизонтальный градиент температуры на полигоне с запада на восток достигал  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , что близко к изменчивости температуры в районе южной области Полярного фронта [20]. Приток вод атлантического происхождения с повышенными значениями температуры наблюдался не только на поверхности, но и в промежуточном

слое. Так, температура воды изменялась на  $0.5^{\circ}\text{C}$  при движении на северо-восток – как на глубине 100 м, так и в придонном слое (рис. 2).

В западной части района отчетливо выделяются воды с более высокими значениями температуры (рис. 2, сплошная жирная линия). По гидрофизическим характеристикам эти воды близки к характеристикам Мурманского течения, переносащего трансформированные Атлантические воды в Арктику [6].

Таким образом, исследованный полигон был разделен на три части: западную, с большим влиянием Мурманского течения (станции 129-96, 129-105, 129-107); восточную, с большей долей Баренцевоморских вод (станции 129-99, 129-100, 129-102); и центральную (станции 129-103, 129-104, 129-109), где наблюдались наибольшие градиенты гидрофизических параметров.

На всем полигоне в верхнем перемешанном слое содержание биогенных элементов не лимитировало развитие фитопланктона (табл. 1). Соотношение N/P на всем участке было выше 10.9.

На всем полигоне в слое над пикноклином (верхние 50 м) содержание аммонийного азота было довольно высокое (табл. 1). Аммонийный азот является первым продуктом в ряду окисления органических соединений азота, и его высокие концентрации свидетельствуют о преобладании процессов деструкции органического вещества. Наибольшее содержание аммонийного азота наблюдалось в восточной части полигона и превышало  $1\ \mu\text{M}$ . Это позволяет предполагать, что деструкционные процессы в восточной части

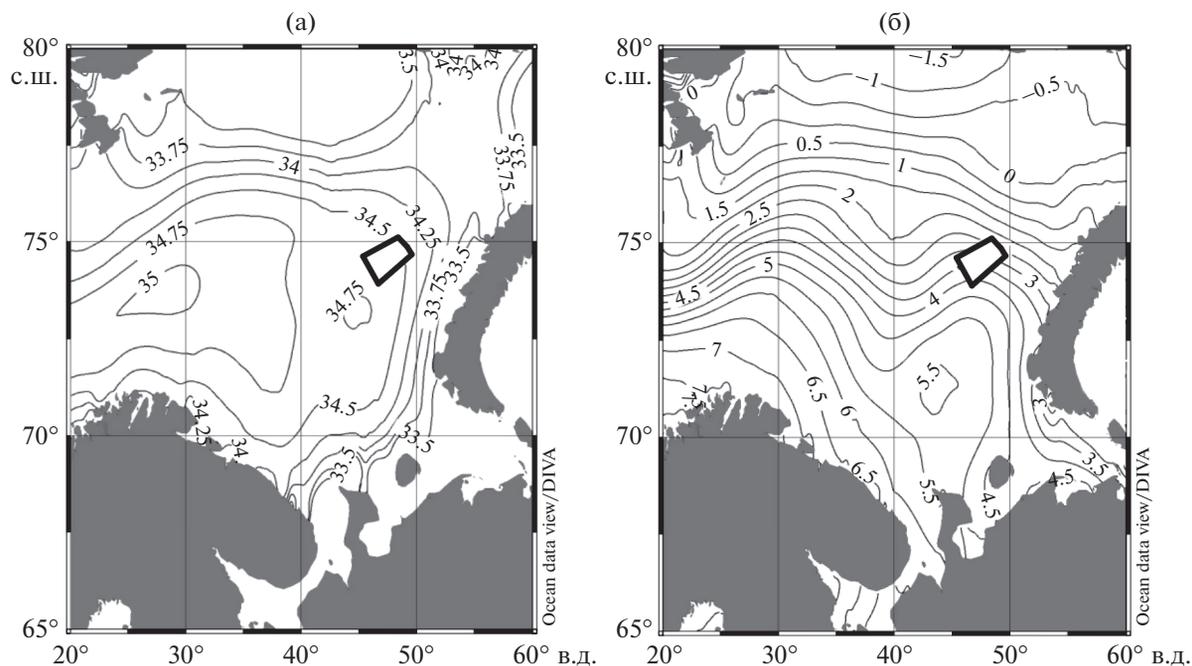


Рис. 3. Распределение солёности (а) и температуры (б) в поверхностном слое в октябре (по многолетним данным 1955–2012 гг.) [16, 29].

были более интенсивны по сравнению с западной и центральной.

### ФИТОПЛАНКТОН

**Таксономический состав.** В начале октября 2014 г. в исследуемом районе в пробах фитопланктона было обнаружено 56 видов водорослей и 14 форм были определены до рода. Все отмеченные эукариотические формы фитопланктона, согласно современной систематике простейших [5], принадлежали 5-ти отделам: Ochrophyta (с классами Bacillariophyceae, Dictyochophyceae, Chrysophyceae), Dinophyta, Prymnesiophyta, Cryptophyta, Chlorophyta. Кроме того, в фитопланктоне были обнаружены флагеллаты и цисты водорослей менее 10 мкм неясного систематического положения. Диатомовые (Bacillariophyceae) составляли 35%, динофитовые (Dinophyta) – 46% видового богатства, на остальные группы приходилось 19% от общего числа найденных видов (рис. 4).

Пространственное распределение числа видов фитопланктона по полигону было неравномерным (рис. 5). Так, в западной части, находящейся под более выраженным влиянием вод атлантического происхождения, видовое богатство было низким и не превышало 20 видов на станцию. В восточной и центральной частях число видов водорослей значительно возросло (в 1.2–2.2 раз). Граница резкого изменения числа видов в фитопланктонном сообществе совпадала с расположением гидрофизической фронтальной области.

На всем полигоне наиболее встречаемыми видами среди диатомовых были *Bacterosira bathyomphala*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudonitzschia delicatissima*; среди динофитовых – *Gymnodinium wulffii*, *Prorocentrum minimum*; среди остальных групп – *Leucocryptos marina*, *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta) и кокколитофориды *Emiliana huxleyi* и *Discosphaera* cf. *tubifer*. Встречаемость этих видов на станциях исследованного полигона была более 80%.

Таблица 1. Среднее ( $\mu\text{M}$ ) содержание биогенных элементов и среднее значение соотношения азота к фосфору для слоя 0–50 м для “западного”, “центрального” и “восточного” районов полигона

	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$	Si	$\text{NH}_4$	N/P
“Запад”	$2.13 \pm 0.57$	$0.16 \pm 0.05$	$1.09 \pm 0.18$	$0.5 \pm 0.11$	13.9
“Центр”	$2.23 \pm 0.86$	$0.16 \pm 0.05$	$1.26 \pm 0.24$	$0.54 \pm 0.07$	13.9
“Восток”	$1.74 \pm 0.41$	$0.16 \pm 0.02$	$1.04 \pm .09$	$0.88 \pm 0.13$	10.9

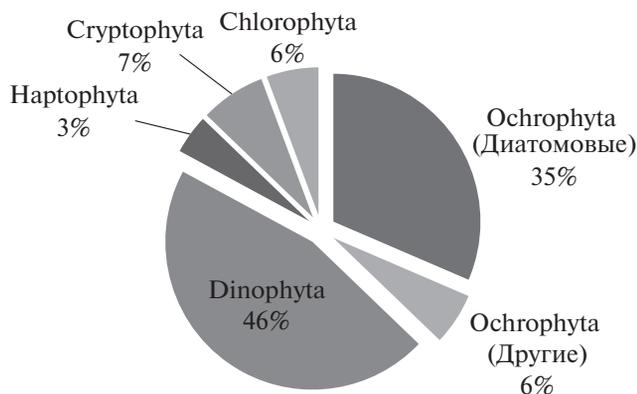


Рис. 4. Соотношение количества видов разных групп фитопланктона.

Средние значения численности и биомассы наиболее встречаемых на полигоне видов приведены в табл. 2.

В восточной и центральной частях кроме вышеперечисленных видов фитопланктона были встречены виды родов *Chaetoceros* (*C. atlanticus*, *C. convolutus*, *C. decipiens*, *C. tenuissimus*, *C. gracilis*, *C. subtilis*, *C. thronsenii*, *C. socialis*), *Leptocylindrus* (*L. minimus*), *Neoceratium* (*N. arcticum*, *N. furca*, *N. fusus*), *Dinophysis* (*D. acuminata*, *D. arctica*, *D. norvegica*, *D. rotundata*), *Gonyaulax* (*G. scrippsae*), *Gymnodinium* (*G. arcticum*), *Pterosperra* (*P. vanhoeffenii*). В западной части перечисленные виды встречены не были.

**Пространственное распределение количественных характеристик фитопланктона.** Численность фитопланктона, нормированная на глубину эв-

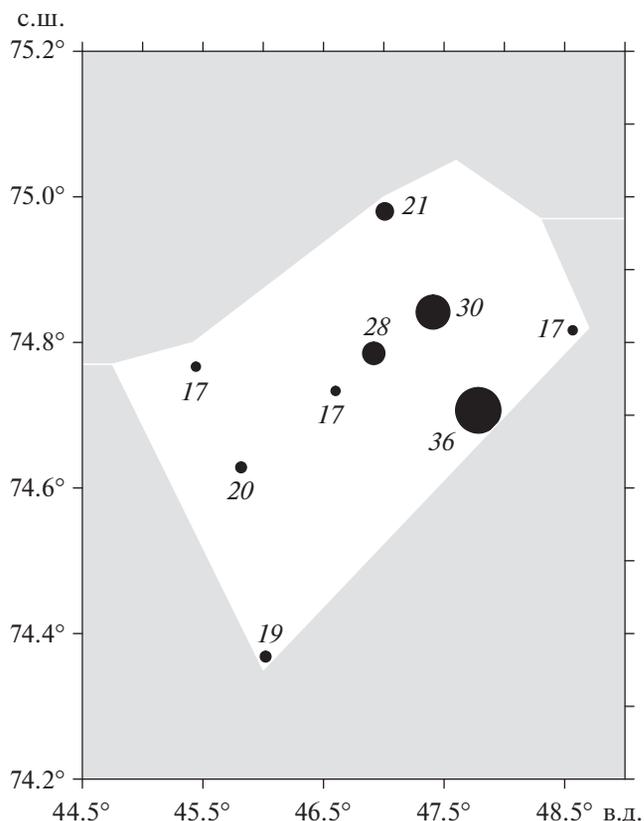


Рис. 5. Пространственное распределение числа видов в фитопланктонном сообществе.

фотического слоя, изменялась в пределах 57.5–165.2 млн кл/м<sup>3</sup>, составляя в среднем 97.1 млн кл/м<sup>3</sup>. При этом биомасса планктонных микроводорос-

Таблица 2. Средние значения численности (×млн кл/м<sup>3</sup>) и биомассы (мгС/м<sup>3</sup>) наиболее встречаемых видов фитопланктона для всего полигона

Вид	Численность			Биомасса		
	ср. знач.	ст. откл.	%	ср. знач.	ст. откл.	%
<b>Диатомовые</b>						
<i>Bacterosira bathyomphala</i>	4.7	1.5	6.3	0.3	0.1	1.4
<i>Cylindrotheca closterium</i>	1.6	1	2.1	0.02	0.01	0.1
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	5.4	2.6	7.1	0.07	0.03	0.3
<b>Динофлагелляты</b>						
<i>Gymnodinium wulfii</i>	0.6	0.4	0.8	0.2	0.1	0.8
<i>Prorocentrum minimum</i>	8.9	23.6	11.8	3.5	9.1	13.9
<b>Криптофитовые</b>						
<i>Leucocryptos marina</i>	10.4	3.8	13.7	1.2	0.4	4.9
<i>Rhodomonas</i> sp.	1.3	1.19	1.7	0.1	0.1	0.5
<b>Кокколитофориды</b>						
<i>Emiliania huxleyi</i>	8.1	7.2	10.7	0.3	0.3	1.3
<i>Discosphaera</i> cf. <i>tubulifera</i>	32.3	13.3	42.8	17.5	7.3	70.8

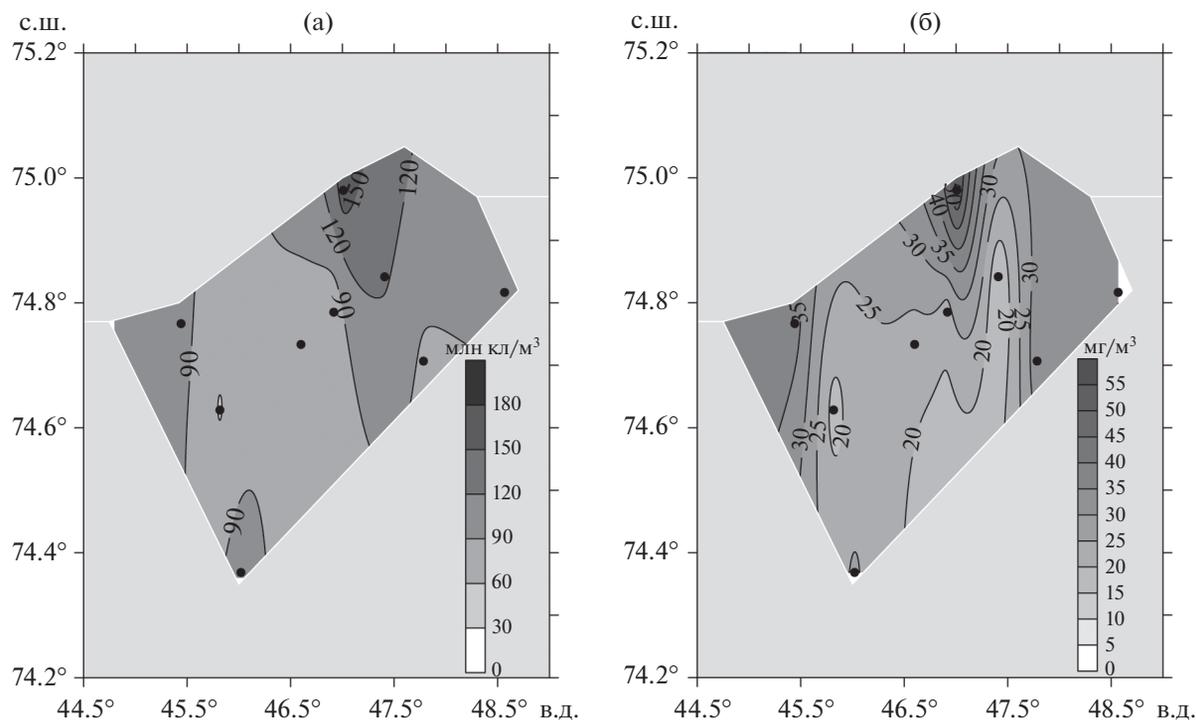


Рис. 6. Пространственное распределение общей численности ( $N$ ,  $\times$  млн кл/м<sup>3</sup>) (а) и биомассы ( $C$ , мг/м<sup>3</sup>) (б) фитопланктона нормированной на глубину исследованного слоя.

лей, выраженная в единицах углерода, колебалась от 14.9 до 55.3 мгС/м<sup>3</sup>, со средним значением 28.8 мгС/м<sup>3</sup> (рис. 6).

Наиболее высокие значения численности и биомассы планктонных микроводорослей наблюдались в северной части полигона на станциях 129-102 и 129-109. На ст. 129-109 это было связано с заметным увеличением численности динофлагеллят, основную долю которых составлял *Prorocentrum minimum*. Вклад этого вида в общую численность и биомассу фитопланктона был 60 и 57%, соответственно. На станции 129-102 преобладал вид рода *Phaeocystis* (Haptophyta) в мотильной стадии, составляя 55% в общей численности и биомассе фитопланктона. Вследствие небольших размеров клеток этого вида, увеличения общей биомассы фитопланктона на этой станции не наблюдалось.

В табл. 3 приведены количественные показатели разных групп фитопланктона для западной, центральной и восточной областей полигона. На всем исследованном участке основной вклад в общую численность и биомассу планктонных микроводорослей составляли кокколитофориды (*Emiliania huxleyi* и *Discosphaera* cf. *tubifer*). Доля кокколитофорид варьировала от 30 до 82% в общей численности и от 35 до 93% в общей биомассе фитопланктона. Количественные показатели диатомовых водорослей были сравнительно низ-

кие, максимальные значения численности и биомассы этой группы наблюдались в западной части полигона, подверженной более выраженному влиянию вод атлантического происхождения, и составляли  $31.6 \times 10^6$  кл/м<sup>3</sup> и 1.4 мгС/м<sup>3</sup>, соответственно. Увеличение численности диатомовых водорослей происходило за счет вида *Pseudo-nitzschia delicatissima*, биомассы — *Bacterosira bathyomphala*, *Eucampia groenlandica* и *Pseudo-nitzschia delicatissima*.

Содержание хл “а” в эвфотическом слое было относительно низким (рис. 7а), его средняя концентрация для столба воды не превышала 0.5 мг/м<sup>3</sup>. Эти величины согласуются с полученными в более ранних работах значениями концентрации фитопигментов для восточной части Баренцева моря в конце вегетационного сезона [2]. Более высокое содержание хл “а” в эвфотическом слое наблюдалось в западной области полигона.

В период исследований на полигоне Баренцева моря доля феофитина составляла 40% ( $\pm 4\%$ ). Максимальные значения этого параметра, отражающие более низкую активность хлорофилла, наблюдались в восточной части полигона (рис. 7б). В западной части, доля феофитина была несколько ниже, что свидетельствует о сравнительно более высокой фотосинтетической активности клеток водорослей.

**Таблица 3.** Видовое богатство водорослей, разброс численности (млн кл/м<sup>3</sup>) и биомассы (мгС/м<sup>3</sup>) и средние значения количественных параметров разных групп фитопланктона в эвфотическом слое в западной, центральной и восточной областях полигона

	“Запад”	“Центр”	“Восток”
Число видов <sup>1</sup>	28 (8/9/2)	35 (10/15/2)	55 (20/20/2)
Общая численность <sup>2,3</sup>	57.5–106.0 88.2	64.9–165.2 102.2	85.4–123.8 100.8
Общая биомасса <sup>2,3</sup>	17.9–37.4 27.0	22.2–55.3 33.4	14.9–33.4 26.1
<i>Диатомовые</i>			
Численность <sup>2,3</sup>	9.6–31.6 17.8	11.4–21.8 16.9	6.9–21.6 12.9
Биомасса <sup>2,3</sup>	0.6–1.2 1.0	0.2–1.4 0.9	0.4–0.9 0.7
<i>Динофлагелляты</i>			
Численность <sup>2,3</sup>	2.6–4.8 3.7	2.4–84.0 29.9	1.8–5.3 1.8
Биомасса <sup>2,3</sup>	1.4–2.9 2.0	0.8–33.26 12.4	0.8–8.0 3.8
<i>Кокколитофориды</i>			
Численность <sup>2,3</sup>	29.5–64.8 45.8	34.4–47.2 40.5	60.8–90.4 76.0
Биомасса <sup>2,3</sup>	14.1–30.8 21.6	17.4–19.2 18.0	5.8–28.6 20.8

Примечание: <sup>1</sup> – Для числа видов приведено общее число видов фитопланктона, в скобках – число видов диатомовых, динофитовых, кокколитофорид. <sup>2</sup> – Для численности и биомассы в числителе приведены диапазоны значений, в знаменателе – средние значения. <sup>3</sup> – Значения численности и биомассы нормированы на глубину исследованного слоя.

### Вертикальное распределение фитопланктона.

На трех станциях, расположенных в западной (ст. 129-105), центральной (ст. 129-103) и восточной (ст. 129-99) частях полигона, были выполнены исследования вертикальной структуры фитопланктона (рис. 8).

Несмотря на то, что общая численность и биомасса фитопланктона на всех горизонтах была сравнительно невысокая – от 57.5 до 85.4 млн кл/м<sup>3</sup> и от 17.7 до 32.9 мгС/м<sup>3</sup>, соответственно, характер вертикального распределения планктонных микроводорослей на исследованных станциях был различный. На ст. 129-99 и 129-103 наибольшее обилие клеток фитопланктона наблюдалось в области сезонного пикноклина (на глубине 7–10 м). На ст. 129-105 численность и биомасса водорослей были низкие во всем столбе воды. При этом видовой состав фитопланктона на станциях и горизонтах практически не изменялся. Увеличение количественных характеристик водорослей в области сезонного пикноклина на станциях 129-99 и 129-103 происходило за счет увеличения числа

клеток кокколитофорид (*Emiliania huxleyi* и *Disco-sphaera* cf. *tubifer*). Вертикальное распределение хл “а” носило несколько иной характер. На станциях 129-99 и 129-103 наибольшая концентрация фитопигмента была сосредоточена в поверхностном слое, на ст. 129-105 на глубине 30 м был отмечен второй максимум хл “а” без увеличения численности и биомассы фитопланктона. На этой станции в поверхностном слое и на глубине 30 м в сообществе планктонных микроводорослей возрастала доля диатомовых, представленных в основном *Bacterosira bathyomphala*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, а также видом *Thalassiosira* cf. *bioculata*, не встреченного в центральной и восточной частях полигона.

Характер вертикального распределения величины Chl/C<sub>фито</sub> на станциях 129-99, 129-103, 129-105 различался (рис. 9).

В восточной области (ст. 129-99) величина Chl/C<sub>фито</sub> была значительно ниже на всех горизонтах. Среднее значение Chl/C<sub>фито</sub> здесь составляло 0.011 и было в два раза меньше, чем в цен-

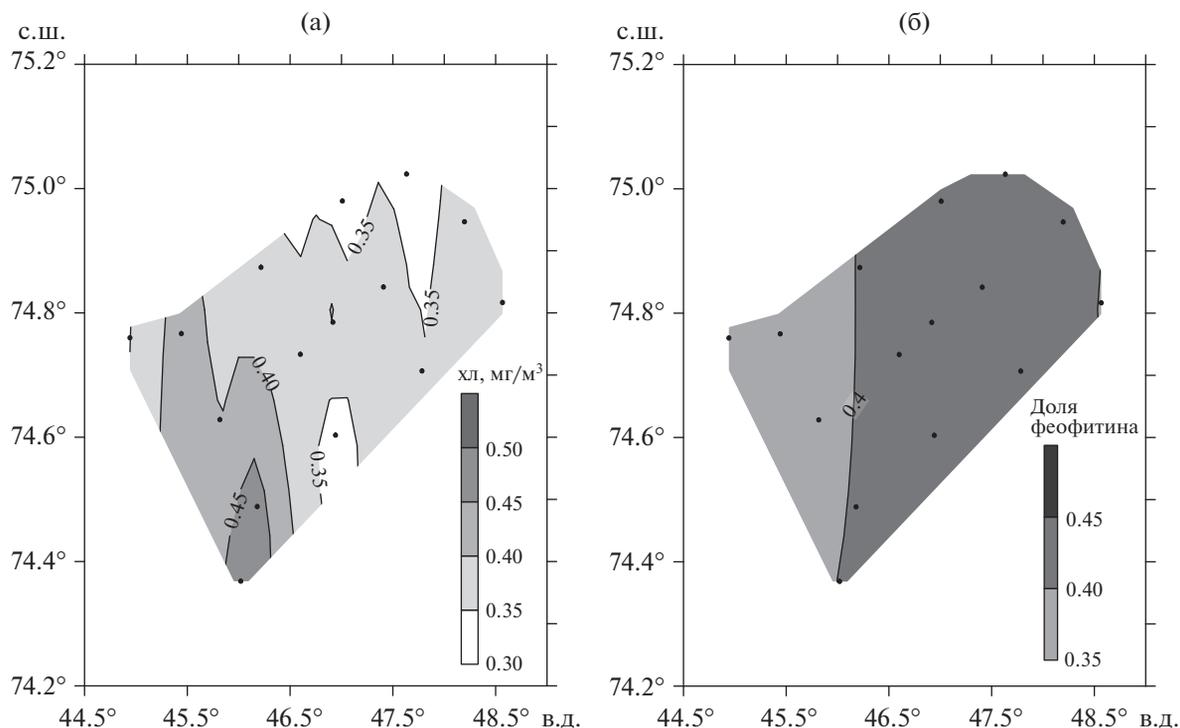


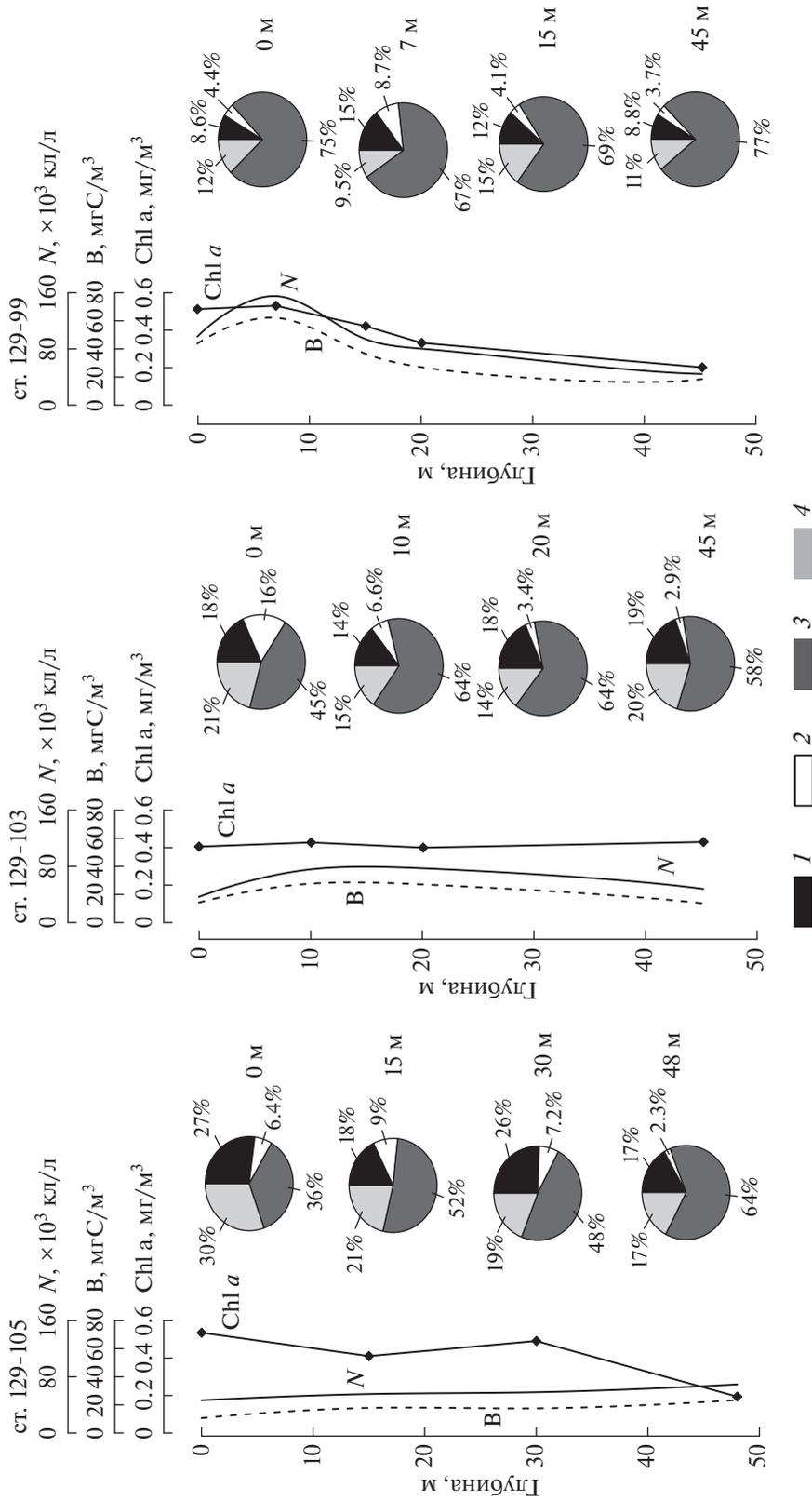
Рис. 7. Пространственное распределение средних значений в эвфотическом слое хл “а” ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) (а) и доли феофитина (б).

тральной и западной областях (0.022 и 0.026 на ст. 129-103 и 129-105 соответственно). Наиболее высокие значения  $\text{Chl}/\text{C}_{\text{фито}}$  наблюдались на ст. 129-105 в поверхностном слое. По-видимому, на этой станции в верхнем слое водной толщи формировались более благоприятные условия для функционирования фитопланктона, что отражается в более высоком удельном содержании хл “а” в клетках водорослей, по сравнению со ст. 129-99.

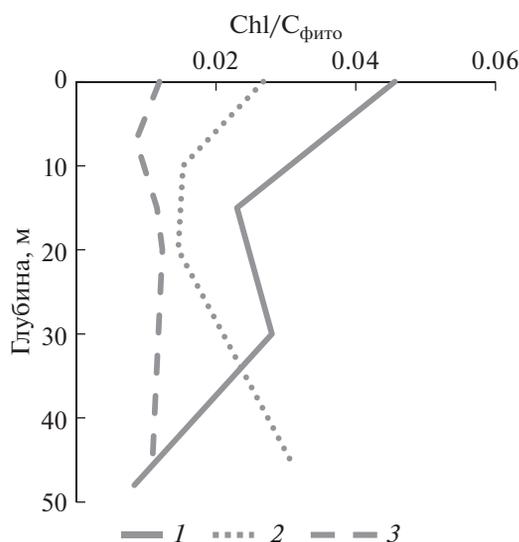
Несмотря на пространственные различия в структуре фитопланктона и вспышки численности на полигоне, наши результаты свидетельствуют о том, что в октябре в целом фитопланктонное сообщество было на стадии снижения фотосинтетической активности, типичной для поздне-осеннего сезона [4].

Очевидно, что представленная выше неравномерность пространственного распределения фитопланктона, отражает неравномерность распределения гидрологических параметров водной толщи, связанных с наличием в данном районе фронтальной области, образованной водами с разными гидрофизическими и гидрохимическими характеристиками. Анализ пространственной изменчивости структуры фитопланктона в начале октября 2014 г. выявил четкие различия между сообществом микроводорослей в западной части, где прослеживалось более выраженное влияние вод атлантического происхождения и фито-

планктоном в “баренцевоморской” части полигона. Это проявилось в первую очередь в видовом разнообразии планктонных микроводорослей. Так, в восточной части полигона число видов фитопланктона резко возросло по сравнению с западной. В сообществе появились крупные динофлагелляты, характерные для терминальной стадии сезонного цикла [3]. Данные пространственного распределения хл “а” и доли феофитина в сумме пигментов хлорофилл + феофитин свидетельствуют о том, что в восточной области, занятой в большей степени баренцевоморскими водами, активность фитопланктонного сообщества была ниже по сравнению с западной частью, где прослеживалось более сильное влияние вод атлантического происхождения. Повышенные концентрации аммонийного азота в восточной части свидетельствует о более активных процессах деструкции. В северной области полигона во фронтальной зоне наблюдались остатки “цветения” автотрофной динофлагелляты *Prorocentrum minimum* и флагелляты *Phaeocystis* sp. с численностью более 100 млн кл/м<sup>3</sup>. При этом значения концентрации хл “а” в этой области были самыми низкими для всего исследованного участка, не превышая 0.35  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Распространение кокколитофорид (*Emiliania huxleyi* и *Discosphaera* cf. *tubifer*) в восточной части Баренцева моря, их доминирование в сообществе фитопланктона в октябре на всем полигоне в области Полярного фронта с от-



**Рис. 8.** Вертикальное распределение численности ( $N$ ,  $\times 10^3$  кл/л) и биомассы ( $B$ , мгС/м<sup>3</sup>) и вклад в численность разных групп фитопланктона. 1 — Диатомовые, 2 — динофлагелляты, 3 — кокколитофориды, 4 — другие группы.



**Рис. 9.** Вертикальное распределение величин  $\text{Chl}/\text{C}_{\text{фито}}$  на станциях в разных частях полигона. 1 – Западная часть (ст. 129-105), 2 – центральная часть (ст. 129-103), 3 – восточная часть (ст. 129-99).

носителем высокой численностью и биомассой (до 90.4 млн кл/м<sup>3</sup> и 30.8 мгС/м<sup>3</sup>, соответственно) являлось нетипичным для завершающей стадии сезона вегетации. В работах, основанных на спутниковых данных, было показано, что массовое развитие кокколитофорид обычно наблюдается в летний сезон и более свойственно для западной части Баренцева моря, находящейся под более сильным влиянием вод атлантического происхождения [1, 26].

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИО РАН №0149-2018-0035, при финансовой поддержке проектов РФФИ №16-35-60068 мол\_а\_дк (анализ фитоценозов и гидрофизических данных) и РНФ №14-50-00095 (анализ гидрохимической структуры).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буренков В.И., Копелевич О.В., Ратькова Т.Н. и др. Цветение кокколитофорид в Баренцевом море – спутниковые и судовые наблюдения // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 5. С. 1–9.
2. Ведерников В.И., Гагарин В.И. Первичная продукция и хлорофилл в Баренцевом море в сентябре-октябре 1997 г. // *Океанология*. 1998. Т. 38. № 5. С. 710–718.
3. Дружков Н.В., Макаревич П.П. Сезонная сукцессия микрофитопланктона в прибрежной зоне Восточного Мурмана // *Производственно-деструкционные процессы пелагиали прибрежья Баренцева моря*. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1991. С. 62–72.
4. Дружкова Е.И., Ларионов В.В., Макаревич П.П. Сезонная динамика количественных характеристик и размерной структуры нанофитопланктонного

сообщества прибрежных вод Баренцева моря // *Докл. РАН*. 2007. Т. 413. № 4. С. 568–570.

5. Adl S.M., Simpson A.G.B., Farmer M.A. et al. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists // *J. of Eukaryotic Microbiology*. 2005. V. 52. Iss. 5. P. 399–451.
6. Arthun M. Water mass transformations and air-sea exchange in the Barents Sea. Dissertation for the degree of PhD. Geophysical Institute University of Bergen, Norway. June 2011. 16 p.
7. Erga S.R., Ssebiyonga N., Hamre B. et al. Nutrients and phytoplankton biomass distribution and activity at the Barents Sea Polar Front during summer near Hopen and Storbanken // *J. of Marine Systems*. 2014. V. 130. P. 181–192.
8. Erga S.R., Ssebiyonga N., Hamre B. et al. Environmental control of phytoplankton distribution and photosynthetic performance at the Jan Mayen Front in the Norwegian Sea. // *J. of Marine Systems*. 2014b. V. 130. P. 193–205.
9. Fernández E., Cabal J., Acuña J.L. et al. Plankton distribution across a slope current-induced front in the southern Bay of Biscay // *J. of Plankton Res.* 1993. V. 15. P. 619–641.
10. Flint M.V., Sukhanova I.N., Kopylov A.I. et al. Plankton distribution associated with frontal zones in the vicinity of the Pribilof Islands // *Deep-Sea Res.* 2002. V. 49. P. 6069–6093.
11. Franks P.J.S., Chen C. Plankton production in tidal fronts: a model of Georges Bank in summer // *J. of Marine Res.* 1996. V. 54. P. 631–651.
12. Hegseth E.N. Phytoplankton of the Barents Sea—The end of a growth season // *Polar Biology*. 1997. V. 17. P. 235–241.
13. Hegseth E.N., Sundfjord A. Intrusion and blooming of Atlantic phytoplankton species in the high Arctic // *J. of Marine Systems*. 2008. V. 74. P. 108–119.
14. Holm-Hansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // *Oikos*. 1978. V. 30. P. 438–447.
15. Koegeler J., Rey F. Ocean colour and the spatial and seasonal distribution of phytoplankton in the Barents Sea // *Int. j. remote sensing*. 1999. V. 20. № 7. P. 1303–1318.
16. Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I. et al. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. In: Levitus S. (Ed.), Mishonov A. (Technical Ed.). NOAA Atlas NESDIS. 2013. V. 73. 40 p.
17. Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // *Polar Res.* 1991. V. 10. P. 5–18.
18. Menden-Deuer S., Lessard E.J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // *Limnology Oceanography* 2000. V. 45. № 3. P. 569–579.
19. Owrud G., Socal G., Civitarese G. et al. Spatial variability of phytoplankton, nutrients and new production estimates in the waters around Svalbard // *Polar Res.* 2000. V. 19 (2). P. 155–171.
20. Oziel L., Sirven J., Gascard J.-C. The Barents Sea frontal zones and water masses variability (1980–2011) // *Ocean Science*. 2016. V. 12. P. 169–184.

21. *Rat'kova T.N., Wassmann P.* Seasonal variation and spatial distribution of phyto- and protozooplankton in the central Barents Sea // *J. of Marine Systems*. 2002. V. 38. P. 47–75.
22. *Rudels B., Larsson A.M., Sehlstedt P.I.* Stratification and water mass formation in the Arctic Ocean: some implications for the nutrient distribution // *Polar Res*. 1991. V. 10. P. 19–31.
23. *Skjoldal H.R., Hassel A., Rey F., Loeng H.* Spring phytoplankton development and zooplankton reproduction in the central Barents Sea in the period 1979–1984 / Ed. Loeng H. The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea. Proc. 3rd Sov.–Norw. Symp. Inst. Mar. Res. Bergen. 1987. P. 59–89.
24. *Smyth T.J., Tyrrell T., Tarrant B.* Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery // *Geophys. Res. Letters*. 2004. V. 31. L11302. P. 1–4.
25. *Strickland J.D.H., Parsons T.R.* A practical handbook of seawater analysis. Pigment analysis // *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 1968. V. 167. P. 1–311.
26. *Syvertsen E.E.* Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom / Eds. Sakshaug E., Hopkins C.C.E., Øritsland N.A. Proceedings of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Ecology. Trondheim. 12–16 May 1990. *Polar Res*. 1991. V. 10 (1). P. 277–287.
27. *von Quillfeldt C.H.* Common diatom species in the arctic spring bloom: their distribution and abundance // *Bot. Mar.* 2000. V. 43. P. 499–516.
28. *Wassmann P., Ratkova T.N., Andreassen I.J. et al.* Spring bloom development in the marginal ice zone and the central Barents Sea // *P.S.Z.N. I. Mar. Ecol.* 1999. V.20 (3/4). P. 321–346.
29. *Zweng M.M., Reagan J.R., Antonov J.I. et al.* World Ocean Atlas 2013, V. 2: Salinity / Eds. Levitus S., Mishonov A. NOAA Atlas NESDIS. 2013. V. 74. 39 p.

## Phytoplankton Community at the Polar Front of the Eastern Part of the Barents Sea during the End of a Growth Season

V. M. Sergeeva, L. S. Zhitina, S. A. Mosharov, A. A. Nedospasov, A. A. Poluhin

Phytoplankton community and its distribution were investigated in the south part of the Polar Front in the eastern Barents Sea in October 2014. Analysis of the spatial differences in the phytoplankton structure was performed in connection with changes of the temperature, salinity and biogenic regime. At the end of the growing season in the phytoplankton community was dominated by destruction processes and the concentration of nutrients in the upper mixed layer was higher than the limiting level. Coccolithophores (*Emiliana huxleyi* and *Discosphaera cf. tubifer*) dominated over investigated area. The maximum values of abundance and biomass of coccolithophores reached 90.4 mln cell/m<sup>3</sup> and 30.8 mgC/m<sup>3</sup>, drawing up 82% of the total number and 93% of the total biomass of phytoplankton. Influence of the transformed waters of Atlantic origin was observed in the western part of the investigated area. The number of species in the phytoplankton community here was 1.5–2 times lower than in the eastern part occupied mostly by Barents Sea water. In the eastern part of the presence of large dinoflagellates *Neoceratium* spp. and *Dinophysis* spp., lower values of chlorophyll a concentration, a higher proportion of pheophytin in the amount of pigments chlorophyll + pheophytin, the high content of ammonia in the upper mixed layer showed that in this area the phytoplankton was at a later seasonal succession stage than in the western part.