

**ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ХЛОРОФИЛЛ  
В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПО МАТЕРИАЛАМ 44 РЕЙСА НИС  
«АКАДЕМИК ИОФФЕ» В ИЮЛЕ 2014**

**А.Б. Демидов, В.И. Гагарин**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: [demspa@rambler.ru](mailto:demspa@rambler.ru), [gagarin@ocean.ru](mailto:gagarin@ocean.ru)*

Статья поступила в редакцию 15.01.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Материал был собран в 44-м рейсе «Академик Иоффе» в период с 4 июля по 15 июля 2014 г. на трансатлантическом разрезе по 59.5°с.ш. Содержание хлорофилла «а» на поверхности изменялось более чем на порядок, от 0.06 до 2.12 мг/м<sup>3</sup>. Величины первичной продукции на поверхности варьировали от 2.88 до 31.43 мгС/м<sup>3</sup> в день. Первичная продукция в столбе воды изменялась от 32 до 443 мгС/м<sup>2</sup> в день, составив в среднем для всего разреза 265 мгС/м<sup>2</sup> в день. Суммарное содержание хлорофилла в слое фотосинтеза варьировалось от 6.11 до 64.60 мг/м<sup>2</sup>. Высокая устойчивость водного столба препятствовала поступлению биогенных элементов в эвфотический слой и лимитировала первичную продукцию в исследованном районе в середине лета.

**Ключевые слова:** первичная продукция, хлорофилл, ассимиляционное число

**Введение**

Оценка величины первичной продукции (ПП) Мирового океана является одной из важнейших задач биоокеанологии и биогеохимии океана. Современный подход к решению этой задачи предполагает использование моделей ПП и спутниковых данных в качестве входящих в эти модели параметров. Точность оценки ПП повышается при использовании региональных продукционных моделей. Для их разработки требуется создание базы натуральных данных по продукционным параметрам фитопланктона и абиотическим факторам. Кроме этого, картины пространственной изменчивости первичной продукции и хлорофилла, полученные судовыми методами и по спутниковым данным, сопоставимые по временному масштабу, представляют большой интерес для сравнения.

Северная Атлантика – район Мирового океана, являющийся одним из основных для запуска так называемого Глобального океанического конвейера, способствующего широтному обмену вод и формированию климата на планете (Broecker, 1991). Это регион высокой биологической продуктивности, чувствительный к изменениям климата (Richardson, Schoeman, 2004). Измерения ПП в районе 60° с. ш. проводились на ограниченных акваториях (Gudmundsson, 1998; Waniek, Holiday, 2006; Zhai et al., 2012). Таким образом, данных натуральных исследований по-прежнему недостаточно для представления картины пространственно-временных изменений в этом регионе и разработки региональных моделей оценки ПП.

В определенной степени восполнить этот пробел были призваны исследования, проведенные в июле 2014 г. на трансатлантическом разрезе по 59.5°с.ш. Целью наших работ являлось исследование пространственной изменчивости первичной продукции и хлорофилла «а» (Хл) в Северной Атлантике на акватории крупного масштаба. Такие съемки, проведенные в течение 1–2 недель, позволяют отделить пространственную составляющую изменчивости от временной и провести в дальнейшем корректные сравнения судовых и спутниковых данных.

### Материал и методы

Работы проводились в 44-м рейсе «Академик Иоффе» с 4 июля по 15 июля 2014 г. Первичную продукцию и содержание хлорофилла «а» измеряли на STD-станциях, расположенных в 4-х биогеохимических провинциях (Sathyendranath et al., 1995): Северо-восточный континентальный шельф (NECS), район Северо-Атлантического течения (NADR), Арктическая провинция (ARCT) и Бореальная полярная провинция (BPLR) (рис. 1; табл 1). Стратегия отбора проб была описана ранее (Демидов и др., 2012).

Таблица 1. Продукционные характеристики фитопланктона и некоторые сопутствующие абиотические факторы на станциях, на которых проводились измерения первичной продукции

№ ст.	φ	λ	Дата	ПП <sub>0</sub>	ИПП	Хл <sub>фс</sub>	АЧ <sub>м</sub>	Н <sub>фс</sub>	PO <sub>4</sub>	Si	T <sub>0</sub>	I <sub>0</sub>
3157	59.5	6.0	4.07.	30.5	357	49.1	1.35	45	0.11	1.43	13.0	24.9
3161	59.5	8.7	5.07.	18.4	210	37.2	1.57	56	0.20	0.63	12.6	41.2
3167	59.5	12.7	6.07.	17.5	440	40.5	1.62	58	0.19	0.31	12.8	37.4
3174	59.5	17.3	7.07.	31.4	336	45.5	1.49	47	0.28	0.58	12.4	27.9
3180	59.5	21.3	8.07.	21.3	252	39.6	1.64	57	0.31	0.70	11.9	17.8
3185	59.5	24.7	9.07.	25.7	443	42.7	1.68	49	0.39	1.24	11.5	37.0
3191	59.5	28.7	10.07.	16.9	214	29.4	1.71	52	0.37	1.47	11.4	20.0
3198	59.5	33.3	11.07.	21.2	323	37.2	1.97	57	0.49	0.84	9.4	26.9
3204	59.5	37.3	12.07.	12.4	280	64.6	2.06	75	0.54	0.37	9.7	30.2
3206	59.5	38.7	13.07.	8.9	138	28.6	1.52	64	0.52	0.61	9.2	21.7
3212	59.7	41.5	14.07.	14.5	151	24.8	1.82	45	0.53	0.69	8.9	28.9
3218	59.9	42.3	14.07.	2.9	32	6.1	1.23	74	0.18	0.35	1.4	26.8

Примечания: Широта (φ) и долгота (λ) представлены десятичными дробями. ПП<sub>0</sub> – первичная продукция на поверхности, мгС/м<sup>3</sup> в день; ИПП – первичная продукция в столбе воды, мгС/м<sup>2</sup> в день; Хл<sub>фс</sub> – суммарное содержание хлорофилла «а» в слое фотосинтеза, мг/м<sup>2</sup>; АЧ<sub>м</sub> – максимальное ассимиляционное число, мгС/мг хл «а» в час; Н<sub>фс</sub> – толщина слоя фотосинтеза, м; I<sub>0</sub> – подповерхностная фотосинтетически активная радиация (ФАР), Ein/м<sup>2</sup> в день; PO<sub>4</sub> и Si – концентрация фосфатов и растворенного кремния, соответственно, на поверхности, μМ; T<sub>0</sub> – температура воды на поверхности, °С.

Концентрацию хлорофилла «а» определяли флуориметрическим методом (Holm-Hansen et al. 1965; Holm-Hansen, Riemann, 1978). ПП измеряли при помощи

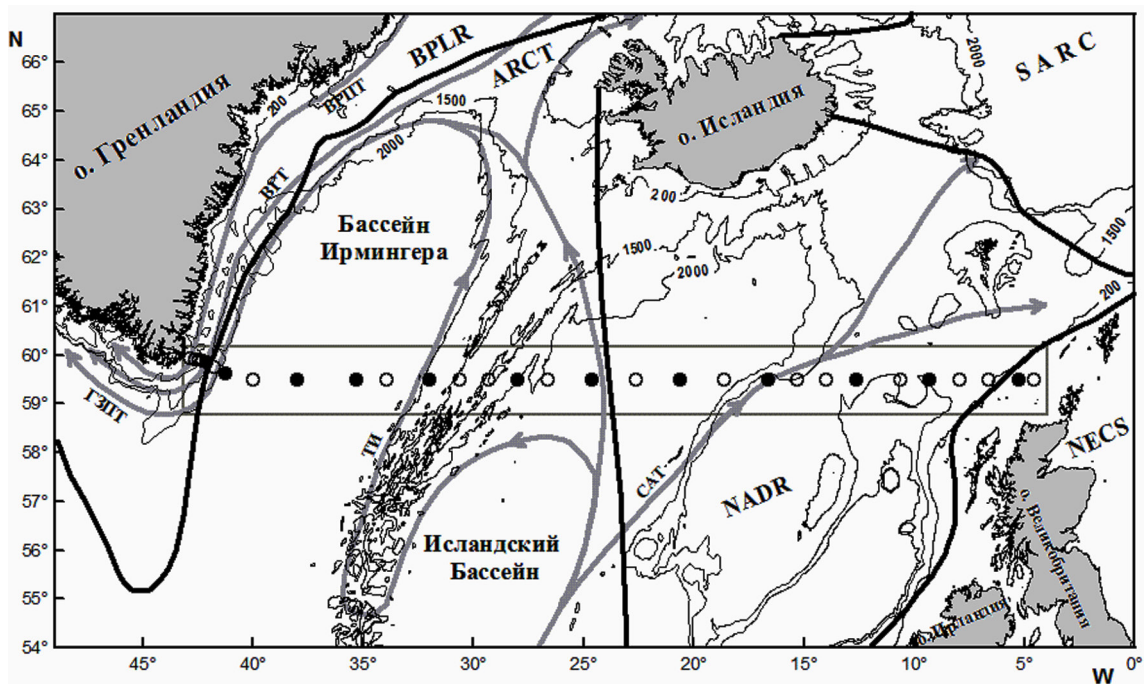


Рис. 1. Район работ и расположение станций в 44-м рейсе «Академик Иоффе». Светлые кружки – станции с вертикальным профилем хлорофилла «а». Темные кружки – станции с измерением первичной продукции в столбе воды. Границы биогеохимических провинций проведены согласно (Sathyendranath et al., 1995). NECS (North-East Continental Shelf) – Северо-восточный континентальный шельф; NADR (North Atlantic Drift) – зона действия Северо-Атлантического течения; SARC (Subarctic) – Субарктика; ARCT (Arctic) – Арктика; BPLR (Boreal Polar) – Северная полярная зона. Основные поверхностные течения Северной Атлантики показаны в соответствии с (Sarafanov et al., 2012). CAT – Северо-Атлантическое течение; ТИ – течение Ирмингера; ВГТ – Восточное Гренландское течение; ВГПТ – Восточное Гренландское пограничное течение. ГЗПТ – Гренландское западное пограничное течение.

радиоуглеродной модификации скляночного метода (Stemann Nielsen, 1952). Постановку опыта осуществляли по модифицированной схеме имитации световых условий (Демидов и др., 2016).

Определение суточной динамики и интегральных величин падающей солнечной радиации (ФАР) проводили с использованием датчика LI-190SA (Li-Cor, США). На станциях, где были проведены измерения первичной продукции, профиль подводной освещенности восстанавливался по диску Секки ( $H_d$ ). При этом величины  $H_d$  были использованы для расчета зависимости коэффициента диффузного ослабления света ( $K_d$ ) от  $H_d$  (Демидов и др., 2016).

Концентрация фосфатов ( $PO_4$ ) определялась при помощи метода Мерфи и Райли. Содержание растворенного кремния (Si) измеряли методом Стрикленда и Парсонса. Описание перечисленных гидрохимических методов приводится в методическом руководстве (Grasshoff et al., 1999). Колориметрические определения были выполнены на спектрофотометре Cary-100 (Agilent Technologies, США).

### Результаты и обсуждение Продукционные характеристики фитопланктона на поверхности и в столбе воды

В июле 2014 г. содержание Хл на поверхности ( $X_{л_0}$ ) в исследованном районе изменялось более чем на порядок, от 0.06 до 2.12 мг/м<sup>3</sup> ( $X_{л_{max}}/X_{л_{min}} = 37$ ), составив в среднем 0.60 мг/м<sup>3</sup>. Максимальные величины  $X_{л_0}$  (1–2 мг/м<sup>3</sup>) отмечены в провинциях NESCS и NADR, а минимальные ( $< 0.1$  мг/м<sup>3</sup>) – в провинции BPLR (рис. 2). Величины первичной продукции на поверхности ( $ПП_0$ ) варьировали от 2.88 до 31.43 мгС/м<sup>3</sup> в день, составив в среднем 18.48 мгС/м<sup>3</sup> в день. Отношение максимальной и минимальной величины  $ПП_0$  оказалось равным 10.91, что свидетельствует о меньшей вариабельности последнего параметра по сравнению с  $X_{л_0}$ . Повышенные ( $> 30$  мгС/м<sup>3</sup> в день) значения  $ПП_0$  отмечены на шельфе Великобритании (провинция NESCS) и в провинции NADR, а минимальные ( $< 5$  мгС/м<sup>3</sup> в день) – на континентальном склоне Гренландии.

По величинам концентрации  $X_{л_0}$  продуктивность Северной Атлантики в районе 60°с.ш. в июле 2014 г. менялась от олиготрофных вод на западе разреза ( $< 0.1$  мг/м<sup>3</sup>) до эвтрофных ( $> 1$  мг/м<sup>3</sup>) на востоке в провинциях NESCS и NADR. Воды восточнее хребта Рейкьянес можно охарактеризовать как типично мезотрофные (0.1–1 мг/м<sup>3</sup>) либо переходные между мезотрофными и эвтрофными. К западу от хребта отмечены в основном мезотрофные воды. Олиготрофия поверхностных вод характерна для бровки Гренландского шельфа (Antoine et al., 1996). Большая часть исследованного района по значениям  $ПП_0$  в середине лета относилась к мезотрофным (5–10 мгС/м<sup>3</sup> в день) или к переходным между мезотрофными и эвтрофными (10–100 мгС/м<sup>3</sup> в день) водам (Кобленц-Мишке, 1967). Проследить изменчивость величин  $X_{л_0}$  и  $ПП_0$  на разрезе также можно по рассчитанным нами средним значениям для биогеохимических провинций (табл. 2).

Достоверная положительная корреляция рассчитана между  $ПП_0$  и  $X_{л_0}$  ( $R = 0.97, p < 0.05$ ), в то время как между  $ПП_0$  и ассимиляционной активностью ( $АЧ_0$ ) достоверной связи установить не удалось. Следует заключить, что  $ПП_0$  на разрезе определялась количеством биомассы фитопланктона, если за ее индекс принимать концентрацию  $X_{л_0}$ .

Толщина слоя фотосинтеза ( $H_{фс}$ ) в июле 2014 г. в открытых водах Северной Атлантики изменялась от 45 до 75 м (табл. 2), составив в среднем 57 м для всего разреза. Средние значения  $H_{фс}$ , полученные в рейсе, характерны для мезотрофных вод (Виноградов и др., 1999). Отношение  $H_{фс}$  к величине относительной прозрачности по диску Секки изменялось от 3.46 до 5.88, составив в среднем 4.83.

Суммарное содержание хлорофилла в слое фотосинтеза ( $X_{л_{фс}}$ ) и в верхнем 150-метровом слое воды ( $X_{л_{0-150}}$ ) в июле 2014 г. варьировало от 6.11 до 64.60 мг/м<sup>2</sup> для  $X_{л_{фс}}$  и от 11.02 до 95.93 мг/м<sup>2</sup> для  $X_{л_{0-150}}$ , составив в среднем 37.11 мг/м<sup>2</sup> и 46.90 мг/м<sup>2</sup> для  $X_{л_{фс}}$  и  $X_{л_{0-150}}$ , соответственно. Картина пространственного распределения  $X_{л_{фс}}$  повторяла в целом изменчивость  $X_{л_0}$  (рис. 2). Обращает на себя внимание тенденция к уменьшению  $X_{л_{0-150}}$  с востока на запад (табл. 2).

Таблица 2. Продукционные характеристики фитопланктона в различных биогеохимических провинциях на разрезе по 59.5° N в Северной Атлантике в июле 2014 г

Провинция*		NECS	NADR	ARCT	BPLR
Дата		4.07	5–9.07	9–14.07	14–15.07
Показатель**	ПП <sub>0</sub>	30.50	22.17±6.38 (4)	16.61±6.09 (6)	2.88
	ИПП	357	310±102 (4)	258±116 (6)	32
	Хл <sub>0</sub>	1.19±0.12 (3)	0.86±0.40 (27)	0.54±0.20 (29)	0.18±0.16 (17)
	Хл <sub>с</sub>	1.09	0.76±0.14 (4)	0.66±0.17 (6)	0.08
	Хл <sub>фс</sub>	49.06	40.70±3.46 (4)	37.90±14.60 (6)	6.11
	Хл <sub>0-150</sub>	56.32±5.93 (2)	53.19±11.78 (11)	47.07±18.83 (11)	24.41±16.51 (4)
	АЧ <sub>0</sub>	1.35	1.55±0.07 (4)	1.79±0.21 (6)	1.23
	АЧ <sub>max</sub>	1.35	1.58±0.07 (4)	1.79±0.21 (6)	1.23
	АЧ <sub>с</sub>	0.40	0.42±0.13 (4)	0.39±0.13 (6)	0.30
	Δ Хл	19	20±14 (4)	19±10 (6)	45
	Н <sub>фс</sub>	45	55±5 (4)	57±11 (6)	74

\* Условные обозначения провинций см. в подписи к рис. 1.

\*\* Приведены средняя арифметическая величина и стандартное отклонение, цифра в скобках – количество измерений. Параметры: ПП<sub>0</sub> – первичная продукция на поверхности, мгС/м<sup>3</sup> в день; ИПП – первичная продукция в столбе воды, мгС/м<sup>2</sup> в день; Хл<sub>0</sub>, Хл<sub>с</sub> – концентрация хлорофилла «а» на поверхности и среднее содержание этого пигмента в слое фотосинтеза, соответственно, мг/м<sup>3</sup>; Хл<sub>фс</sub>, Хл<sub>0-150</sub> – суммарное содержание хлорофилла «а» в слое фотосинтеза и в слое 0–150 м, соответственно, мг/м<sup>2</sup>; АЧ<sub>0</sub>, АЧ<sub>max</sub>, АЧ<sub>с</sub> – поверхностное, максимальное и среднее для слоя фотосинтеза ассимиляционное число, соответственно, мгС/мг Хл «а» в час; Δ Хл – относительное содержание Хл «а» ниже слоя фотосинтеза, %; Н<sub>фс</sub> – толщина слоя фотосинтеза, м.

Из таблицы 2 видно, что в июле 2014 г. на акваториях NECS, NADR и ARCT ниже зоны фотосинтеза (ΔХл) находилось приблизительно 19–20% от суммарного Хл в исследованном слое. Таким образом, в водах этих провинций хлорофилл концентрировался в основном в слое фотосинтеза, что свидетельствует, по-видимому, о невысоких вертикальных скоростях перемешивания в летний период. Резкое увеличение содержания Хл ниже зоны фотосинтеза происходит на западной периферии разреза в Бореальной полярной провинции (BPLR), что, по-видимому, является следствием интенсивной зимней конвекции.

Первичная продукция в столбе воды (ИПП) изменялась от 32 до 443 мгС/м<sup>2</sup> в день, составив в среднем для всего разреза 265 мгС/м<sup>2</sup> в день. Обращают на себя внимание очень низкие (<100 мгС/м<sup>2</sup> в день) значения ИПП на Гренландском



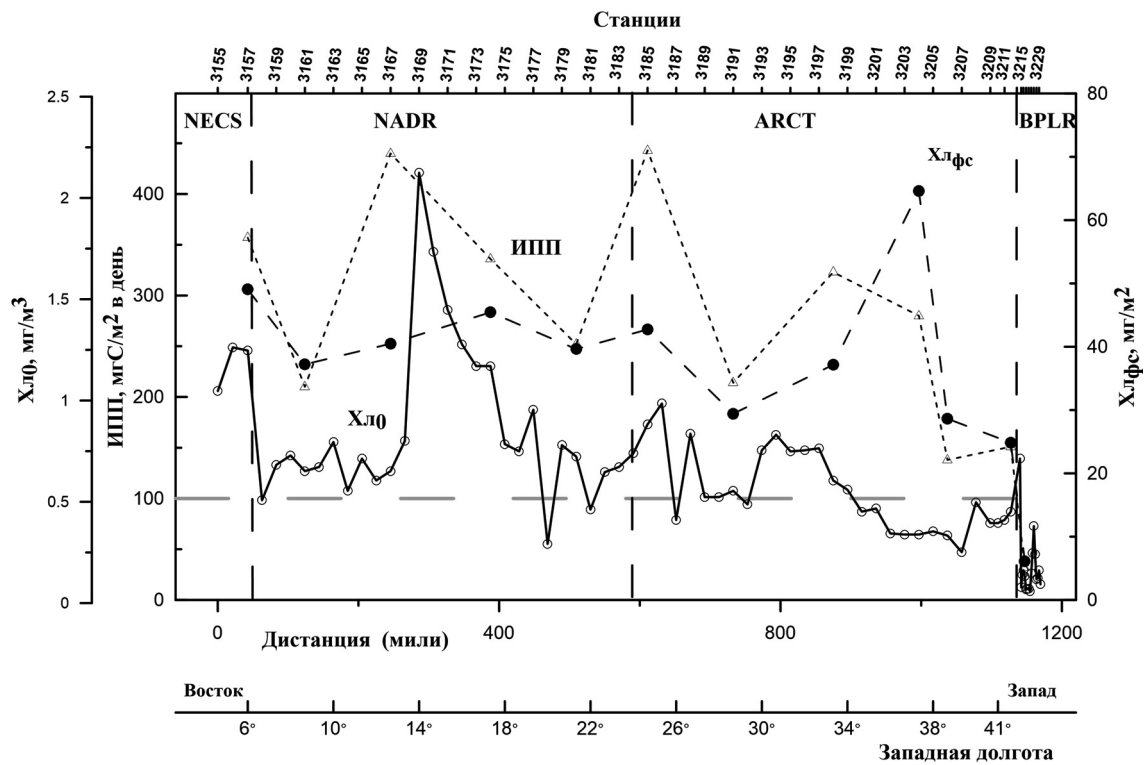


Рис. 2. Распределение содержания хлорофилла «а» на поверхности ( $Хл_0$ ), а также интегральных величин первичной продукции (ИПП) и концентрации хлорофилла в слое фотосинтеза ( $Хл_{фс}$ ) на разрезе по  $59.5^\circ$  с. ш. в июле 2014 г. Горизонтальный пунктир – нижняя граница мезотрофных вод по величинам ИПП (см. пояснения в тексте). Другие условные обозначения см. в подписи к рис. 1.

шельфе. В целом, исследованный район Северной Атлантики по величинам ИПП можно классифицировать как типично мезотрофный (ИПП = 100–500  $мгС/м^2$  в день) (Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977).

Корреляционный анализ связи ИПП с  $Хл$  и ассимиляционной активностью фитопланктона в слое фотосинтеза ( $АЧ_c$ ) показывает, что летом 2014 г. ИПП достоверно зависела как от средней концентрации хлорофилла «а» в этом слое ( $R = 0.80, p < 0.01$ ), так и от величин  $АЧ_c$  ( $R = 0.79, p < 0.01$ ). Интересно отметить также довольно тесную зависимость ИПП от  $Хл_0$  ( $R = 0.70, p < 0.01$ ).

### Влияние факторов среды на продукционные показатели фитопланктона в Северной Атлантике в июле 2014 г.

Одним из основных факторов, определяющих уровень развития фитопланктона, является содержание в воде основных биогенных элементов. На разрезе содержание  $PO_4$  на поверхности было ниже или близким к пределу лимитирующих значений (Fisher et al., 1992), в среднем 0.11–0.47  $\mu M$ . Наблюдался также недостаток в растворенном кремнии, о чем свидетельствуют сравнительно низкие, в среднем, величины этого элемента (0.52–1.57  $\mu M$ ). Таким образом, развитие фитопланктона

в исследованном районе Северной Атлантики в июле 2014 г., по-видимому, сдерживалось недостатком фосфора и кремния.

Представляет интерес анализ корреляционных связей продукционных характеристик фитопланктона с содержанием биогенных элементов. Отмечена положительная достоверная связь  $ПП_0$  ( $R = 0.51$ ,  $p < 0.01$ ) и ИПП ( $R = 0.27$ ,  $p < 0.01$ ) с Si. Интересно, что установлена тесная связь  $АЧ_0$  с концентрацией  $PO_4$  на поверхности ( $R = 0.79$ ). В то же время с растворенным кремнием корреляционная связь этого показателя отсутствовала ( $R = -0.01$ ).

Другим фактором, определяющим уровень первичной продукции, является устойчивость водного столба. В качестве параметров, характеризующих воздействие этого фактора, нами выбраны глубина верхнего перемешанного слоя (ВПС) и разность между плотностями воды на горизонтах 100 и 0 м ( $\Delta\sigma_t$ ) (см. напр. Mandelli, 1967). Глубина ВПС определялась нами горизонтом, на котором превышение плотности воды над поверхностным значением составляла  $0.02 \text{ кг/м}^3$  (Cisewski et al., 2005). В целом по разрезу не отмечено закономерных пространственных изменений ВПС и  $\Delta\sigma_t$ . На Гренландском шельфе (BPLR) обращает на себя внимание резкое возрастание устойчивости верхних 100 м и уменьшение ВПС, что объясняется распреснением поверхностного слоя талыми ледниковыми водами. Отмечена также закономерная отрицательная связь между этими параметрами ( $R = -0.60$ ).

Обнаружена довольно хорошая связь между  $ПП_0$  и  $Хл_0$  и глубиной ВПС ( $R = 0.50$  и  $0.48$ , соответственно). С ИПП и  $АЧ_0$  связь этого показателя не так хорошо выражена ( $R=0.31$  и  $0.19$ , соответственно). Между  $ПП_0$  и ИПП и показателем устойчивости водного столба  $\Delta\sigma_t$  обнаружена отрицательная связь ( $R = -0.59$  и  $-0.58$ , соответственно). Такой же результат получен для  $АЧ$  ( $R = -0.54$  для  $АЧ_0$  и  $R = -0.32$  для  $АЧ_s$ ). Достоверная ( $p < 0.05$ ) отрицательная связь была зарегистрирована между  $\Delta\sigma_t$  и хлорофиллом в слое фотосинтеза ( $R = -0.61$  для  $Хл_{фс}$  и  $R = -0.65$  для  $Хл_s$ ).

Анализ зависимостей продукционных показателей от параметров устойчивости водного столба позволяет прийти к выводу, что в середине календарного лета в Северной Атлантике небольшая толщина ВПС и сильная стратификация верхнего (100 м) слоя могли оказывать угнетающее влияние на развитие фитопланктона. Устойчивая стратификация и высокие градиенты пикноклина способствуют ослаблению конвективного перемешивания и препятствуют поступлению биогенов в эвфотический слой, что может являться причиной снижения уровня продуктивности. Доказательством этому может служить невысокое содержание фосфатов и растворенного кремния в слое фотосинтеза на большинстве станций.

Низкие коэффициенты корреляции между продукционными характеристиками фитопланктона и  $T_0$  могут свидетельствовать о том, что температурный фактор не был определяющим в развитии микроводорослей в исследованных районах Северной Атлантики в июле 2014 г.

### Заключение

В первой половине июля 2014 г. первичная продукция фитопланктона в Северной Атлантике в районе 60° с. ш. соответствовала мезотрофному уровню. Такой уровень ПП свидетельствует о летней фазе сезонной сукцессии фитопланктонного сообщества. Первичная продукция была лимитирована низким содержанием основных биогенных элементов, поступление которых в эвфотическую зону сдерживалось высокой устойчивостью водного столба.

Авторы благодарят Мошарова С.А. за помощь в обработке проб хлорофилла. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФАНО № 0149-2018-0035.

### Литература

- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Незлин Н.П., Ведерников В.И., Гагарин В.И. Корреляционная связь различных параметров экосистемы пелагиали Мирового океана // *Океанология*. 1999. Т. 39. № 1. С. 6–74.
- Демидов А.Б., Гагарин В.И., Мошаров С.А. Определение первичной продукции в столбе воды по измерениям скорости фотосинтеза в поверхностной пробе и кривым вертикального распределения подводной освещенности и хлорофилла // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 5. С. 701–707. doi: 10.7868/S003015741605004X.
- Демидов А.Б., Мошаров С.А., Гагарин В.И. Продукционные характеристики фитопланктона в Южной Атлантике и Атлантическом секторе Южного океана летом 2009–2010 гг. // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 226–238.
- Кобленц-Мишке О.И. Первичная продукция // *Тихий океан*. М.: Наука, 1967. Т. 7: Биология Тихого океана. Кн. 1: Планктон. С. 86–97.
- Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И. Первичная продукция // *Биология океана*. М.: Наука, 1977. Т.2: Биологическая продуктивность океана. С. 183–209.
- Antoine D., André J.-M., Morel A. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll // *Global Biogeochem. Cycles*, 1996. Vol. 10. No. 1. P. 57–69.
- Broecker W.S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991. Vol. 4. No. 2. P. 79–89.
- Cisewski B., Strass V.H., Prandke H. Upper-ocean vertical mixing in the Antarctic Polar Front Zone // *Deep-Sea. Res II*. 2005. Vol. 52. No. 9–10. P. 1087–1108. doi:10.1016/j.dsr2.2005.01.010.
- Fisher T.R., Peele E.R., Ammerman J.W., Harding L.W.J. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 1992. Vol. 82. P. 51–63.
- Gudmundsson K. Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters // *ICES J. Mar. Sci.* 1998. Vol. 55. P. 635–643.
- Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., Strickland J.D.H. Fluorometric determination of chlorophyll // *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 1965. Vol. 30. P. 3–15.
- Holm-Hansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // *Oikos*. 1978. Vol. 30. P. 438–447.
- Mandelli E.F. Enhanced photosynthetic assimilation ratios in Antarctic polar front (convergence) diatoms // *Limnol. and oceanogr.* 1967. Vol. 12. No. 3. P. 484–491.
- Richardson A.J., Schoeman D.S. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic // *Science*. 2004. Vol. 3605. P. 1609–1612. doi: 10.1126/science.1100958.



- Sarafanov A., Falina A., Mercier H., Sokov A., Lherminier P., Gourcuff C., Gladyshev S., Gaillard F., Danault N. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. C01014. doi:10.1029/2011JC007572.
- Sathyendranath S., Longhurst A., Caverhill C.M., Platt T. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic // *Deep-Sea Res. I.* 1995. Vol. 42. No. 10. P. 1773–1802.
- Stemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea // *J. Cons. Perm. Ins. Explor. Mer.* 1952. No. 18. P. 117–140.
- Waniek J., Holiday N.P. Large-scale physical controls on phytoplankton growth in the Irminger Sea, Part II: Model study of the physical and meteorological preconditioning // *J. of Mar. Sys.* 2006. Vol. 59. No. 3–4. P. 219–237. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.10.005.
- Zhai L., Gudmundsson K., Miller P., Peng W., Guðfinnsson H., Debes H., Hátún H., White G.N., Walls R.H., Sathyendranath S., Platt T. Phytoplankton phenology and production around Iceland and Faroes // *Cont. Shelf Res.* 2012. Vol. 37. P. 15–25. doi:10.1016/j.csr.2012.01.013.

**PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL  
IN THE NORTH ATLANTIC IN JULY 2014 ACCORDING TO DATA OF 44<sup>TH</sup>  
CRUISE OF R/V «AKADEMIK IOFFE»**

**A.B. Demidov, V.I. Gagarin**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997,  
e-mail: [demspa@rambler.ru](mailto:demspa@rambler.ru), [gagarin@ocean.ru](mailto:gagarin@ocean.ru)  
Submitted 15.01.2018, accepted 26.04.2018*

Data were obtained during 44<sup>th</sup> cruise of «Akademik Ioffe» from 4 to 15 of July 2014 along 59.5°N. Surface chlorophyll concentration changed by more than one order of magnitude, from 0.06 to 2.12 mg/m<sup>3</sup>. Surface primary production varied from 2.88 to 31.44 mgC/m<sup>3</sup> per day. Water column primary production changed from 32 to 443 mgC/m<sup>2</sup> per day and the average value of this parameter was equal to 265 mgC/m<sup>2</sup> per day. Euphotic layer integrated chlorophyll concentration varied from 6.11 to 64.60 mg/m<sup>3</sup>. High water column stratification restricted nutrient flux to the euphotic layer in the investigated area in the middle of summer.

**Keywords:** primary production, chlorophyll, chlorophyll specific carbon fixation rate

**References**

- Antoine D., André J.-M., and Morel A. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global Biogeochem. Cycles.* 1996, Vol. 10, No. 1, pp. 57–69.
- Broecker W.S. The great ocean conveyor. *Oceanography*, 1991, Vol. 4, No. 2, pp. 79–89.
- Cisewski B., Strass V.H., and Prandke H. Upper-ocean vertical mixing in the Antarctic Polar Front Zone. *Deep-Sea Res II*, 2005, Vol. 52, No. 9–10, pp. 1087–1108. DOI:10.1016/j.dsr2.2005.01.010.

- Demidov A.B., Gagarin V.I., and Mosharov S.A. Opredelenie pervichnoj produkcii v stolbe vody po izmerenijam skorosti fotosinteza v poverhnostnoj probe i krivym vertikal'nogo raspredelenija podvodnoj osveshhennosti i hlorofilla (Measurement of Water Column Primary Production using Photosynthesis-Irradiance Relations for Surface Phytoplankton, the Vertical Chlorophyll Profile, and Underwater Light Intensity). *Okeanologija*, 2016, Vol. 56, No. 5, pp. 701–707, DOI: 10.7868/S003015741605004X.
- Demidov A.B., Mosharov S.A., and Gagarin V.I. Produkcionnye karakteristiki fitoplanktona v Juzhnoj Atlantike i Atlanticheskom sektore Juzhnogo okeana letom 2009–2010 gg. (Phytoplankton Production Characteristics in the Southern Atlantic and the Atlantic Sector of the Southern Ocean in the Austral Summer of 2009–2010). *Okeanologija*, 2012, Vol. 52, No. 2, pp. 226–238.
- Fisher T.R., Peele E.R., Ammerman J.W., and Harding L.W.J. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1992, Vol. 82, pp. 51–63.
- Gudmundsson K. Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 1998, Vol. 55, pp. 635–643.
- Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., and Strickland J.D.H. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 1965, Vol. 30, pp. 3–15.
- Holm-Hansen O. and Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology. *Oikos*, 1978, Vol. 30, pp. 438–447.
- Koblenc-Mishke O.I. Pervichnaja produkcija (Primary production), Tihij ocean (The Pacific Ocean). Moscow: Nauka, 1967, Vol. 7, *Biologija Tihogo okeana, Plankton (Biology of the Pacific Ocean)*, pp. 86–97.
- Koblenc-Mishke O.I. and Vedernikov V.I. Pervichnaja produkcija (Primary production), *Biologija okeana (Biology of the ocean)*. Moscow: Nauka, 1977, Vol. 2, *Biologicheskaja produktivnost' okeana (Biological productivity of the ocean)*, pp. 183–209.
- Mandelli E.F. Enhanced photosynthetic assimilation ratios in Antarctic polar front (convergence) diatoms. *Limnol. and oceanogr.*, 1967, Vol. 12, No. 3, pp. 484–491.
- Richardson A.J. and Schoeman D.S. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 2004, Vol. 3605, pp. 1609–1612. DOI: 10.1126/science.1100958.
- Sarafanov A., Falina A., Mercier H., Sokov A., Lherminier P., Gourcuff C., Gladyshev S., Gaillard F., and Danault N. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s. *J. Geophys. Res.*, 2012, Vol. 117, C01014, DOI:10.1029/2011JC007572.
- Sathyendranath S., Longhurst A., Caverhill C. M., and Platt T. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, *Deep-Sea Res., I*, 1995, Vol. 42, No. 10, pp. 1773–1802.
- Steemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 1952, No. 18, pp. 117–140.
- Vinogradov M.E., Shushkina Je.A., Nezhlin N.P., Vedernikov V.I., and Gagarin V.I. Korreljacionnaja svjaz' razlichnyh parametrov jekosistemy pelagiali Mirovogo okeana (Correlations between different pelagic ecosystem parameters in the World Ocean). *Okeanologija*, 1999, Vol. 39, No. 1, pp. 64–74.
- Waniek J., and Holiday N.P. Large-scale physical controls on phytoplankton growth in the Irminger Sea, Part II: Model study of the physical and meteorological preconditioning. *J. of Mar. Sys.*, 2006, Vol. 59, No. 3–4, pp. 219–237. DOI:10.1016/j.jmarsys.2005.10.005.
- Zhai L., Gudmundsson K., Miller P., Peng W., Guðfinnsson H., Debes H., Hátún H., White G.N., Walls R.H., Sathyendranath S., and Platt T. Phytoplankton phenology and production around Iceland and Faroes. *Cont. Shelf Res.*, 2012, Vol. 37, pp. 15–25. DOI:10.1016/j.csr.2012.01.013.