

Среда обитания водных  
биологических ресурсов

УДК 574.5, 581.526.325.3

Продукционные характеристики фитопланктона  
пролива Брансфилд в летний период*О.В. Воробьева<sup>1,2</sup>, Н.Д. Романова<sup>3</sup>, С.А. Мошаров<sup>3</sup>, Е.В. Бардюкова<sup>3</sup>, С.П. Захарков<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова»), г. Москва

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ФГБУН «ИО РАН»), г. Москва

<sup>4</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (ФГБУН «ТОИ ДВО РАН»), г. Владивосток

E-mail: olvorobieva@rambler.ru

В 79 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Атлантическом секторе Южного океана были исследованы продукционные характеристики фитопланктона пролива Брансфилд в летний период. Работы проводились в январе 2020 г. Определяли первичную продукцию, концентрацию хлорофилла «а» и долю феофитина «а» в сумме хлорофилла «а» и феофитина «а». Концентрация хлорофилла «а» в пределах верхнего 125-метрового слоя варьировала от 0,04 до 1,29 мг/м<sup>3</sup> со средним значением 0,61 мг/м<sup>3</sup>, максимальные значения наблюдались в верхнем двадцатиметровом слое в северо-западной части разреза. Интегральное содержание хлорофилла в фотическом слое колебалось от 16,67 до 62,43 мг/м<sup>2</sup> при среднем содержании 36,66 мг/м<sup>2</sup>, равномерно снижаясь вдоль разреза с запада на восток. Доля феофитина «а» (продукта распада хлорофилла «а») в сумме хлорофилла «а» и феофитина «а» в период исследований в эвфотическом слое варьировала от 20% до 68% при среднем значении 42%. Наиболее низкие значения доли феофитина, свидетельствующие об активных фотосинтетических процессах, наблюдались в северо-западной части разреза на глубинах до 30 м, в поверхностном горизонте в центральной части пролива и на глубинах до 80 м на юго-восточных станциях. Максимальные значения первичной продукции были отмечены в поверхностном горизонте в северо-западной части разреза, величина интегральной первичной продукции составляла 116–206 мгС/м<sup>2</sup> в сутки. Ассимиляционное число составляло 0,33–0,45 мкг С/мкг Хл/час\*л., достигая максимальных значений в верхнем десятиметровом слое воды. Наиболее продуктивной являлась северо-западная часть пролива.

**Ключевые слова:** хлорофилл, пролив Брансфилд, первичная продукция, фитопланктон.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-178-186

## ВВЕДЕНИЕ

Пролив Брансфилда разделяет Южные Шетландские о-ва и западное побережье Антарктического полуострова и является связующим звеном между тихоокеанскими и атлантическими высокоширотными водами Антарктики. В северо-западную часть пролива заходит относительно тёплая, малосолёная, стратифицированная вода, формирующаяся под влиянием ветви Антарктического циркумполярного течения из моря Беллинсгаузена и пролива Жерлаша. Юго-восточная часть пролива характеризуется водной массой с пониженной температурой, повышенной солёностью, слабой стратификацией, которая находится под влиянием моря Уэдделла [Gordon, Nowlin, 1978]. На стыке двух водных масс образуется фронт Брансфилда, направленный с юго-востока на северо-запад, благодаря которому образуется узкая полоса вод с высокой биомассой первичных продуцентов [Gomis et al., 2002].

Пролив Брансфилда, прибрежная зона Южных Шетландских о-вов и Антарктического полуострова являются районом наиболее высокой концентрации антарктических станций, судовых маршрутов в Южном океане и важнейшим районом современного промысла антарктического криля [Krueger, 2019]. В то же время, район западного побережья Антарктического полуострова, включающий пролив, испытывает в начале XXI века самые значительные в масштабах всей Антарктики изменения климатических, океанографических и ледовых условий [Mulvaney et al., 2012; Cook et al., 2016], на которые накладываются значительные декадные колебания [Oliva et al., 2017]. Это приводит к существенным изменениям характеристик морской экосистемы: наглядные изменения на высших трофических уровнях (криль и его потребители) [Trivelpiece et al., 2011] позволяют предполагать, что должны происходить существенные изменения и на уровне первичной продукции. Понимание тенденций в продуктивности вод района Антарктического полуострова важно для оценки долговременных перспектив промысла криля и выработки стратегии управления использованием мор-

ских биологических ресурсов Антарктики. Тренд на увеличение устойчивости верхнего слоя водной толщи и летней концентрации хлорофилла обнаружен в прибрежье Антарктического полуострова к юго-западу от пролива Брансфилда [Moreau et al., 2015; Brown et al., 2019]. В то же время, хотя в районе пролива Брансфилда выполнено заметное число исследований распределения и динамики фитопланктона и хлорофилла [напр., Rodriguez et al., 2002; Чурин, Гулюгин, 2017; La et al., 2019], одновременные оценки распределения растительных пигментов (хлорофилла и продукта его деградации феофитина) и прямые измерения первичной продукции достаточно редки, и в последние годы не выполнялись. Ввиду актуальности таких измерений исследования растительных пигментов и первичной продукции были проведены антарктическим летом 2020/19 на детальном океанологическом разрезе через центральную часть пролива Брансфилда.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Исследования проводились в ходе 79-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [Морозов и др., 2020] (рис. 1).

Разрез через пролив Брансфилда был выполнен в период с 20 по 21 января 2020. Пробы воды отбирали пластиковыми батометрами комплекса SBE-32 Carousel Water Sampler из верхнего 125-м слоя. Три-пять горизонтов отбора проб (в обязательном порядке поверхностный слой, слой максимума флуоресценции и слой 1% освещённости ФАР (фотосинтетически активной радиации) определяли на основании данных по температуре, солёности и флуоресценции на основании гидрофизического зондирования. Пробы воды делили на подпробы, которые использовались для измерения различных параметров, таких как концентрация биогенных элементов, хлорофилла и феофитина, оценка первичной продукции. Для определения концентрации хлорофилла и феофитина пробы объёмом 500 мл фильтровали через стекловолокнистые фильтры марки GF/F под вакуумом при разряжении до 0,2 атм с использованием фильтроваль-

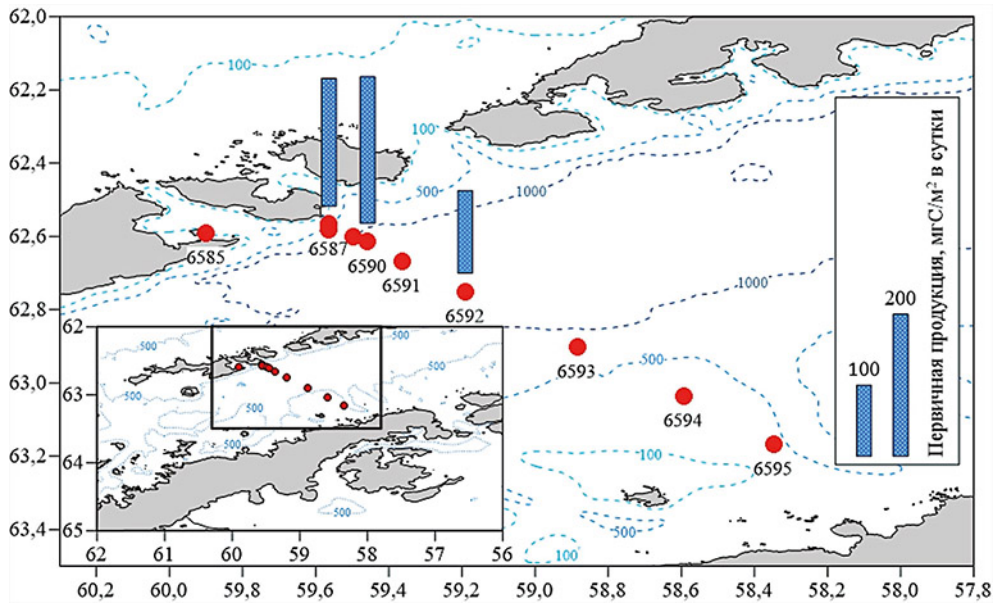


Рис. 1. Пролив Брансфилда. Расположение станций в 79 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Синими столбцами показана величина интегральной первичной продукции,  $\text{мгС}/\text{м}^2$  в день

ной системы. Фильтры высушивали в темноте и определяли содержание хлорофилла «а» путём экстрагирования 90% водным раствором ацетона в течение суток. Флуоресценцию полученных экстрактов измеряли на флуориметре до и после подкисления 1N HCl. Калибровку флуориметра проводили спектрофотометрическим методом с использованием химически чистого хлорофилла «а» (Sigma) в качестве стандарта. Расчёт концентрации хлорофилла «а» и феофитина «а» проводили с учётом объёма профильтрованной пробы, объёма экстрактов и калибровочных коэффициентов флуориметра по стандартным формулам [Agar, Collins, 1997].

Первичную продукцию измеряли при помощи радиоуглеродной модификации скляночного метода [Nelson, Smith, 1991]. В пробы объёмом 50 мл добавляли меченой по углероду бикарбоната натрия ( $\text{NaH}_{14}\text{CO}_3$ ). При экспонировании проб в специальном переносном инкубаторе задавали разные уровни освещённости, моделируя световые и температурные условия на соответствующих горизонтах отбора. Поддержание температуры инкубации, соответствующей температуре в точке отбора проб, осуществляли с помощью лабораторного охладителя HAILEA 100

и помпы для прокачки воды ЕНЕИМ. Уровень освещённости для каждого флакона, соответствующей освещённости на горизонте отбора пробы, задавался регулируемой величиной постоянного тока, протекающего через светодиод [Мошаров и др., 2015]. Пробы экспонировали в инкубаторе в течение трёх часов. После экспозиции пробы фильтровали через мембранные фильтры «Владипор» (Россия) с размером пор 0,45 мкм под вакуумом 0,3 атм. Определения радиоактивности фильтров проводили на жидкостном сцинтилляционном радиометре Triathler (Hidex, Финляндия). ППП рассчитывали по стандартной формуле, в которой общее количество углерода во всех формах углекислоты принимали равным  $25000 \text{ мгС}/\text{м}^3$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация хлорофилла «а» в пределах верхнего 125 метрового слоя варьировала от 0,04 до  $1,27 \text{ мг}/\text{м}^3$  со средним значением  $0,60 \text{ мг}/\text{м}^3$  (рис. 2), максимальные значения наблюдались в верхнем двадцатиметровом слое в северо-западной части разреза. Интегральное содержание хлорофилла в фотическом слое колебалось от 16,67 до  $62,43 \text{ мг}/\text{м}^2$  при среднем содержании  $36,66 \text{ мг}/\text{м}^2$ , равномерно снижаясь вдоль разреза с запада на

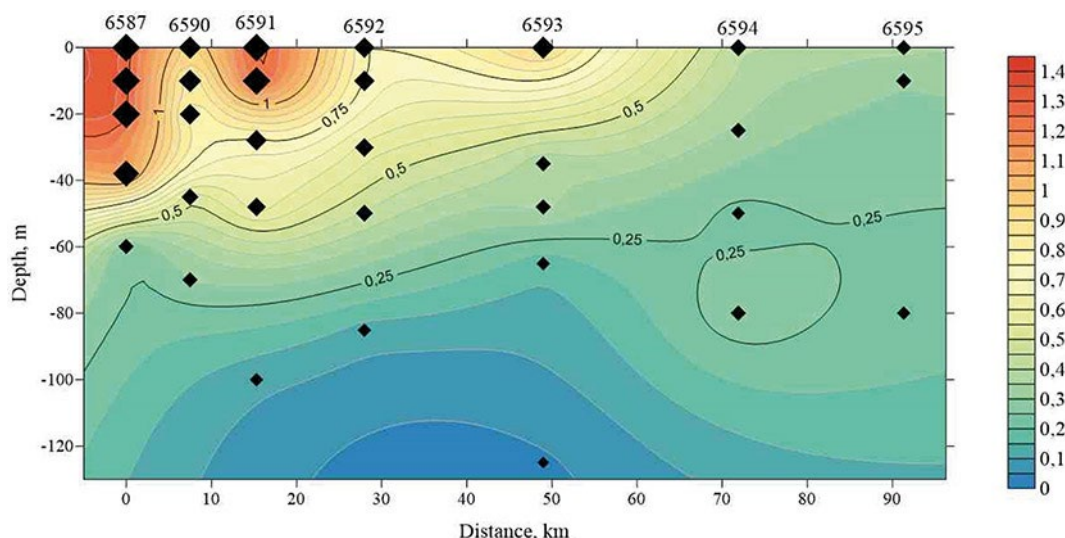


Рис. 2. Вертикальное распределение хлорофилла «а» в проливе Брансфилд в январе 2020 г.

восток (табл. 1). Уменьшение концентрации хлорофилла с северо-запада на юго-восток, наблюдаемое и в прошлых исследованиях, может объясняться притоком фитопланктона из высокопродуктивных прилегающих районов — пролива Жерлаша и моря Беллингаузена [Gomis et al., 2002]. Относительно тёплые и малосолёные водные массы пролива Жерлаша в летний период характеризуются высокими значениями хлорофилла в верхних слоях с преобладанием диатомовых водорослей и жгутиконосцев [Serret et al., 2001; Rodriguez et al., 2002].

Вертикальное распределение хлорофилла определялось, по-видимому, глубиной верхнего перемешанного слоя (ВПС). На северо-западных станциях хлорофилл накапливался в основном в верхнем 20–30 м слое водной толщи при глубине ВПС 32–43 м. Значения хлорофилла на глубинах больше 40–60 м составляли около 20% от максимальных значений. В юго-восточной части пролива глубина ВПС составляла 140–159 м, распределение хлорофилла было относительно равномерным. На глубине 80 м, соответствующей 1% ФАР, концентрация хлорофилла составляла

Таблица 1. Значение величин первичной продукции, концентрации хлорофилла «а» и некоторых сопутствующих гидрофизических параметров в проливе Брансфилд в январе 2020 г.

Станция	Долгота	Широта	H	T <sub>o</sub>	S <sub>o</sub>	ВПС	ПП <sub>o</sub>	ПП <sub>инт</sub>	Хл <sub>o</sub>	Хл <sub>фс</sub>
6585	59,899	62,59	37	2,66	34,00		–	–	1,24	29,1
6587	59,564	62,567	470	1,94	34,13	41	0,43	179,06	1,29	62,43
6588	59,565	62,583	612	1,91	34,05	43	–	–	1,11	57,22
6589	59,496	62,599	897	1,76	34,08	46	–	–	0,89	32,74
6590	59,458	62,614	1256	1,87	34,14	32	0,36	205,67	0,92	42,77
6591	59,363	62,667	1412	2,57	34,14	32	–	–	1,28	52,33
6592	59,191	62,75	1436	2,77	34,15	35	0,34	116	0,75	31,01
6593	58,885	62,901	743	1,86	34,22	39	–	–	0,93	31,8
6594	58,594	63,035	196	-0,03	34,41	140	0,2	–	0,41	16,66
6595	58,348	63,167	166	-0,43	34,42	159	–	–	0,37	19,6

Примечания: H — глубина станции, м, T<sub>o</sub> — температура воды на поверхности, °C, S<sub>o</sub> — солёность воды на поверхности, PSU ВПС — глубина верхнего перемешиваемого слоя, м, ПП<sub>o</sub> — первичная продукция в поверхностном слое, мгС/м<sup>3</sup> в день, ПП<sub>инт</sub> — первичная продукция в эвфотическом слое, мгС/м<sup>2</sup> в день; Хл<sub>o</sub> — концентрация хлорофилла «а» в поверхностном горизонте, мг/м<sup>3</sup>, Хл<sub>фс</sub> — суммарное содержание хлорофилла «а» в слое фотосинтеза, мг/м<sup>2</sup>.

62–71% от максимальных значений, наблюдающихся в поверхностном горизонте, при этом абсолютные концентрации хлорофилла были невелики (табл. 1). Относительно низкие значения концентрации хлорофилла в юго-восточной части разреза могут быть объяснены большой толщиной слоя ВПС [Mitchell, Holm-Hansen, 1991; Nelson, Smith, 1991; Bathmann et al., 1997]. Низкая температура поверхностного слоя в течение всего года, способствующая интенсивной конвекции и ветровому перемешиванию, определяет низкую устойчивость водного столба и большую мощность ВПС по сравнению с эвфотическим слоем. Последнее обстоятельство является одним из основных факторов лимитирования развития фитопланктона [Fitch, Moore, 2007; Demidov et al., 2011].

Для характеристики состояния фитопланктонного сообщества важным показателем является содержание феофитина — первичного продукта распада хлорофилла. Феофитин — более стойкое, по сравнению с хлорофиллом, соединение, присутствующее во всех пробах морской воды. По мере старения сообщества водорослей и/или под действием токсикантов, в клетках водорослей происходит накопление феофитина. Низкая доля феофитина (до 40%) в общей сумме пигментов (хлорофилл и феофитин) может служить индикатором активности сообществ фитопланктона, показывающим их способность воспринимать солнечную энергию и обеспечивать фотосинтез. При доле феофитина 40–65% фитопланктон находится в угнетённом состоянии с низким продукционным потенциалом. При доле феофитина более 65% происходит отмирание клеток [Мошаров, Сергеева, 2018]. Доля феофитина «а» в сумме хлорофилла «а» и феофитина «а» в период исследований в эвфотическом слое варьировала от 20% до 68% при среднем значении 42%. Наиболее низкие значения доли феофитина, свидетельствующие об активных фотосинтетических процессах, наблюдались в северо-западной части разреза на глубинах до 30 м, в поверхностном горизонте на станции 6593 (центральная часть пролива), и на глубинах до 80 м на юго-восточных станциях.

Величины интегральной первичной продукции составляли 116–206 мгС/м<sup>2</sup> в сутки. Максимальные значения продукции были отмечены в поверхностном горизонте в северо-западной части разреза (7,2 мгС/м<sup>3</sup> в сутки). Ассимиляционное число составляло 0,33–0,45 мкг С/мкг Хл/час\*л., достигая максимальных значений в верхнем десятиметровом слое воды. Полученные нами величины первичной продукции оказались ниже значений, полученных в прошлых исследованиях — так, в конце января 1987 г. значение ПП составляло 990 мгС/м<sup>2</sup> в сутки [Holm-Hansen, 1991], в декабре 1995-январе 1996–600 мгС/м<sup>2</sup> в сутки в северо-западной части пролива. В среднем по району этот показатель составляет 1 гС/м<sup>2</sup> в сутки [Varela et al., 2002]. В целом, известна ярко выраженная сезонная динамика значений первичной продукции, в связи с чем, более низкие значения, полученные в наших исследованиях, могут свидетельствовать о смещении вегетационного сезона во времени, или о более растянутом пике развития фитопланктона [Mitchell, Holm-Hansen, 1991]. Значения ПП, измеренной в подповерхностном слое в январе 2010 г. увеличивались в южном направлении с 6,36 до 19,32 мгС/м<sup>3</sup> в сутки [Tiera et al., 2012] и соответствуют величинам, полученных нами, однако демонстрируют более высокие показатели продукции в области затока холодных вод моря Уэдела.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ пространственного распределения первичной продукции и хлорофилла «а» в проливе Брансфилда в период антарктического лета 2020 г. подтвердил неоднородность распределения фитопланктона, отмеченный в прошлых исследованиях. Северо-западная часть пролива характеризуется относительно высокими значениями хлорофилла (0,75–1,29 мг/м<sup>3</sup> в поверхностном горизонте, при содержании в слое ФАР 29–57 мг/м<sup>2</sup>). Сопоставление с литературными данными показывает, что выявленная зональность распределения фитопланктона характерна для летнего сезона в центральной части пролива. Наиболее продуктивным является верхний 30-метровый слой,

где наблюдается наибольшее содержание хлорофилла с высоким продукционным потенциалом и значениями ПП в поверхностном горизонте 0,34–0,42 мгС/м<sup>3</sup> в день. В юго-восточной части пролива, вследствие интенсивного перемешивания водных масс, фитопланктон распределён по вертикали достаточно равномерно. Концентрации хлорофилла составляет 0,37–0,41 мг/м<sup>3</sup> в поверхностном горизонте, и 16–19 мг/м<sup>2</sup> в слое ФАР. Величина ПП в поверхностном горизонте составляет 0,2 мгС/м<sup>3</sup> в день.

Авторы выражают благодарность капитану Л.В. Сазонову и экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», руководству экспедиции — Е.Г. Морозову, В.А. Спиридонову, Д.И. Фрею — и нашим коллегам по экспедиции за помощь и слаженную работу в рейсе, рецензенту за замечания, высказанные к рукописи. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИО РАН 0128–2019–0008, и Соглашения о намерениях по сотрудничеству в научно-исследовательской деятельности между ИО РАН и ВНИРО от 07.08.2018.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Морозов Е.Г., Спиридонов В.А., Молодцова Т.Н., Фрей Д.И., Демидова Т.А., Флинт М.В. 2020. Исследования экосистемы атлантического сектора Антарктики (79-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. Т. 60. № 5. С. 823–825.
- Мошаров С.А., Гонтарев С.В., Корсак М.Н. 2015. Новый фитоинкубатор с регулировкой температуры и освещенности для определения первичной продукции // *Безопасность в техносфере*. № 4. С. 3–9.
- Мошаров С.А., Сергеева В.М. 2018. Оценка функционального состояния морского фитопланктона по флуоресцентным показателям и соотношению концентраций феофитина и хлорофилла а // *Вопросы современной альгологии*. № 1 (16). С. 10–16. URL: <http://algology.ru/1257>.
- Чурин Д.А., Гулюгин С.Ю. 2017. Особенности сезонной динамики хлорофилла а в связи с абсолютной динамической топографией Антарктической части Атлантики // *Труды ВНИРО*. Т. 169. С. 117–125.
- Arar E.J., Collins G.B. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.–23p.
- Bathmann U.V., Scharek R., Klaas C., Dubischar C.D., Smetacek V. 1997. Spring development of phytoplankton biomass and composition in major water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* Vol. 44. P. 51–67.
- Brown M.S., Munro D.R., Feehan C.J., Sweeney C., Ducklow H.W., Schofield O. 2019. Enhanced oceanic CO<sub>2</sub> uptake along the rapidly changing West Antarctic Peninsula // *Nature Climate Change*. Vol. 9. P. 678–683.
- Cook A.J., Holland P.R., Meredith M.P., Murray T., Luckman A., Vaughan D.G. 2016. Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula // *Science*. Vol. 353. I. 6296. P. 283–286.
- Demidov A.B., Mosharov S.A., Gagarin V.I., Romanova N.D. 2011. Spatial variability of the primary production and chlorophyll a concentration in the Drake passage in the austral spring // *Oceanology*. Vol. 51. P. 281–294.
- Fitch D.T., Moore J.K. 2007. Wind speed influence on phytoplankton bloom dynamics in the Southern Ocean Marginal Ice Zone // *J. Geophys. Res. Oceans*. Vol. 112. C08006.
- Gomis D., García M.A., López O., Pascual A. 2002. Quasi-geostrophic 3D circulation and mass transport in the western Bransfield Strait during Austral summer 1995/96 // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, FRUELA — A Carbon Flux Study in the Antarctic Peninsula Area. Vol. 49. P. 603–621.
- Gordon A.L., Nowlin W.D. 1978. The Basin waters of Bransfield Strait // *J. of Physical Oceanogr.* Vol. 6. P. 258–264.
- Krueger L. 2019. Spatio-temporal trends of the krill fisheries in the Western Antarctic Peninsula and Southern Scotia Arc // *Fishery Management and Ecology*. Vol. 26. P. 327–333.
- La H.S., Park K., Chae J.Y., Park T., Park J. 2019. Climatic factors and their robust evidences controlling phytoplankton biomass in the Bransfield Strait // *Terr. Atmospheric Ocean. Sci.* Vol. 30. P. 821–830.
- Mitchell B.G., Holm-Hansen O. 1991. Observations of modeling of the Antarctic phytoplankton crop in relation to mixing depth // *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* Vol. 38. P. 981–1007.
- Moreau S., Mostajir B., Bélanger S., Schloss I., Vancoppenolle M., Demer S., Ferreyra G. 2015. Climate change enhances primary production in the western Antarctic Peninsula // *Global Change Biology*. Vol.21. P. 2191–2205.
- Mulvaney R., Abram N.J., Hindmarsh R.C.A., Arrowsmith C., Fleet L., Triest J., Sime L.C. Aleman O., Ford S. 2012. Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history // *Nature*. Vol. 489. P. 141–145.

- Nelson D.M., Smith W.* 1991. Sverdrup revisited: Critical depths, maximum chlorophyll levels, and the control of Southern Ocean productivity by the irradiance-mixing regime // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 36. P. 1650–1661.
- Oliva M., Navarro F., Hrbáček F.A. Hernández, Nývlt D., Pereira P., Ruiz-Fernández J., Trigo T.* 2017. Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere // *Science of the Total Environment.* Vol. 580. P. 210–223.
- Rodriguez F., Varela M., Zapata M.* 2002. Phytoplankton assemblages in the Gerlache and Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) determined by light microscopy and CHEMTAX analysis of HPLC pigment data // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, FRUELA — A Carbon Flux Study in the Antarctic Peninsula Area Vol. 49. P. 723–747.
- Serret P., Fernández E., Anadón R., Varela M.* 2001. Trophic control of biogenic carbon export in Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica // *J. Plankton Res.* Vol. 23. P. 1345–1360.
- Teira E., Mourino-Carbalido B., Martinez-Garcia S., Sobrino C., Ameneiro J., Hernandez-Leon S., Vaxquez E.* 2012. Primary production and bacterial carbon metabolism around South Shetlands Islands in the Southern Ocean // *Deep Sea Res. Part I: Oceanogr. Res. Pap.* Vol. 69. P. 70–81.
- Trivelpiece W.Z., Hinke J.T., Miller A.K., Reiss C.S., Triivelpiece S.G., Watters J.M.* 2011. Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica // *PNAS.* Vol. 108. I. 18. P. 7625–628.
- Varela M., Fernandez E., Serret P.* 2002. Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995–1996 // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* Vol. 49. P. 749–768.

Поступила в редакцию 29.06.2020 г.  
Принята после рецензии 29.09.2020 г.

Habitat of aquatic  
biological resourcesPhytoplankton production during austral  
summer in the Bransfield straitO. V. Vorobieva<sup>1,2</sup>, N. D. Romanova<sup>3</sup>, S. A. Mosharov<sup>3</sup>, E. V. Bardukova<sup>3</sup>, S. P. Zakharkov<sup>4</sup><sup>1</sup> M. V. Lomonosov Moscow State University (FSBEI HE «MSU»), Moscow, Russia<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow, Russia<sup>3</sup> P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS (FSBIS «SIO RAS»), Moscow, Russia<sup>4</sup> V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute (FSBIS «POI FEB RAS»), Vladivostok, Russia

Production characteristics of summer phytoplankton in the Bransfield Strait were studied in January 2020 during the 79th cruise of the R/V «Akademik Mstislav Keldysh» in the Atlantic sector of the Southern Ocean. The primary production, concentration of chlorophyll «a» and the relative content of pheophytin «a» in the sum of chlorophyll «a» and pheophytin «a» were determined. The concentration of chlorophyll «a» within the upper 125 m layer varied from 0.04 to 1.29 mg/m<sup>3</sup> with an average value of 0.61 mg/m<sup>3</sup>. The maximal values were detected in the upper 20 m layer in the northwestern part of the section. The integral content of chlorophyll in the photic layer ranged from 16.67 to 62.43 mg/m<sup>2</sup> with an average content of 36.66 mg/m<sup>2</sup>, decreasing from west to east. The relative content of pheophytin «a» in the euphotic layer varied from 20% to 68% with an average value of 42%. The lowest values of pheophytin, indicating active photosynthetic processes, were observed in the northwestern part of the section at depths of up to 30 m, in the surface horizon in the central part of the strait, and at depths up to 80 m at the southeastern stations. The depth-integrated primary production was equal to 116–206 mg C/m<sup>2</sup> per day, the most active synthesis of organic matter was revealed in the surface horizon. The assimilation number was 0.33–0.45 µg C/µg Chl/hour\*L, reaching maximum values in the upper ten-meter layer of water. The northwestern part of the Bransfield Strait was the most productive.

**Keywords:** chlorophyll, Bransfield Strait, primary production, phytoplankton.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-178-186

## REFERENCES

- Morozov E. G., Spiridonov V. A., Molodtsova T. N., Frej D. I., Demidova T. A., Flint M. V. 2020. Issledovaniya ehkositemy atlanticheskogo sektora Antarktiki (79-j rejs nauchno-issledovatel'skogo sudna «Akademik Mstislav Keldysh») [investigations of the ecosystem in the Atlantic sector of Antarctica (cruise 79 of the R/V «Akademik Mstislav Keldysh»)] // *Okeanologiya*. T. 60. № 5. S. 823–825.
- Mosharov S. A., Gontarev S. V., Korsak M. N. 2015. Novyj fitoinkubator s regulirovkoj temperatury i osveshchennosti dlya opredeleniya pervichnoj produktsii [New phyto-incubator with temperature and illumination adjustment for water ecosystems' ecological parameters monitoring] // *Bezopasnost' v tekhnosfere*. № 4. S. 3–9.
- Mosharov S. A., Sergeeva V. M. 2018. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya morskogo fitoplanktona po fluoretsentnym pokazatelyam i sootnosheniyu kontsentratsij feofitina i khlorofilla a [Estimate of the marine phytoplankton state by fluorescence parameters and ratio of chlorophyll a and pheophytin concentrations] // *Voprosy sovremennoj al'gologii*. № 1 (16). P. 10–16. Str. URL: <http://algology.ru/1257>.
- Churin D. A., Gulyugin S. Yu. 2017. Osobennosti sezonnoj dinamiki khlorofilla a v svyazi s absolyutnoj dinamicheskoy topografiej Antarkticheskoy chasti Atlantiki [Aspects of dynamics of chlorophyll-a in relation to the absolute dynamic topography of the



- Antarctic part of the Atlantic] // *Trudy VNIRO*. T. 169. S. 117–125.
- Arar E.J., Collins G.B. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997. –23p.
- Bathmann U.V., Scharek R., Klaas C., Dubischar C.D., Smetacek V. 1997. Spring development of phytoplankton biomass and composition in major water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* Vol. 44. P. 51–67.
- Brown M.S., Munro D.R., Feehan C.J., Sweeney C., Ducklow H.W., Schofield O. 2019. Enhanced oceanic CO<sub>2</sub> uptake along the rapidly changing West Antarctic Peninsula // *Nature Climate Change*. Vol. 9. P. 678–683.
- Cook A.J., Holland P.R., Meredith M.P., Murray T., Luckman A., Vaughan D.G. 2016. Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula // *Science*. Vol. 353. I. 6296. P. 283–286.
- Demidov A.B., Mosharov S.A., Gagarin V.I., Romanova N.D. 2011. Spatial variability of the primary production and chlorophyll a concentration in the Drake passage in the austral spring // *Oceanology*. Vol. 51. P. 281–294.
- Fitch D.T., Moore J.K. 2007. Wind speed influence on phytoplankton bloom dynamics in the Southern Ocean Marginal Ice Zone // *J. Geophys. Res. Oceans*. Vol. 112. C08006.
- Gomis D., García M.A., López O., Pascual A. 2002. Quasi-geostrophic 3D circulation and mass transport in the western Bransfield Strait during Austral summer 1995/96 // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr., FRUELA — A Carbon Flux Study in the Antarctic Peninsula Area*. Vol. 49. P. 603–621.
- Gordon A.L., Nowlin W.D. 1978. The Basin waters of Bransfield Strait // *J. of Physical Oceanogr.* Vol. 6. P. 258–264.
- Krueger L. 2019. Spatio-temporal trends of the krill fisheries in the Western Antarctic Peninsula and Southern Scotia Arc // *Fishery Management and Ecology*. Vol. 26. P. 327–333.
- La H.S., Park K., Chae J.Y., Park T., Park J. 2019. Climatic factors and their robust evidences controlling phytoplankton biomass in the Bransfield Strait // *Terr. Atmospheric Ocean. Sci.* Vol. 30. P. 821–830.
- Mitchell B.G., Holm-Hansen O. 1991. Observations of modeling of the Antarctic phytoplankton crop in relation to mixing depth // *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* Vol. 38. P. 981–1007.
- Moreau S., Mostajir B., Bélanger S., Schloss I., Vancoppenolle M., Demer S., Ferreyra G. 2015. Climate change enhances primary production in the western Antarctic Peninsula // *Global Change Biology*. Vol. 21. P. 2191–2205.
- Mulvaney R., Abram N.J., Hindmarsh R.C.A., Arrowsmith C., Fleet L., Triest J., Sime L.C., Aleman O., Ford S. 2012. Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history // *Nature*. Vol. 489. P. 141–145.
- Nelson D.M., Smith W. 1991. Sverdrup revisited: Critical depths, maximum chlorophyll levels, and the control of Southern Ocean productivity by the irradiance-mixing regime // *Limnol. Oceanogr.* Vol. 36. P. 1650–1661.
- Oliva M., Navarro F., Hrbáček F.A., Hernández, Nýlt D., Pereira P., Ruiz-Fernández J., Trigo T. 2017. Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere // *Science of the Total Environment*. Vol. 580. P. 210–223.
- Rodriguez F., Varela M., Zapata M. 2002. Phytoplankton assemblages in the Gerlache and Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) determined by light microscopy and CHEMTAX analysis of HPLC pigment data // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr., FRUELA — A Carbon Flux Study in the Antarctic Peninsula Area*. Vol. 49. P. 723–747.
- Serret P., Fernández E., Anadón R., Varela M. 2001. Trophic control of biogenic carbon export in Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica // *J. Plankton Res.* Vol. 23. P. 1345–1360.
- Teira E., Mourino-Carbalido B., Martinez-Garcia S., Sobrino C., Ameneiro J., Hernandez-Leon S., Vaxquez E. 2012. Primary production and bacterial carbon metabolism around South Shetlands Islands in the Southern Ocean // *Deep Sea Res. Part I: Oceanogr. Res. Pap.* Vol. 69. P. 70–81.
- Trivelpiece W.Z., Hinke J.T., Miller A.K., Reiss C.S., Trivelpiece S.G., Watters J.M. 2011. Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica // *PNAS*. Vol. 108. I. 18. P. 7625–628.
- Varela M., Fernandez E., Serret P. 2002. Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995–1996 // *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* Vol. 49. P. 749–768.

#### TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Values of primary production, chlorophyll a concentration, and some hydrophysical parameters in Bransfield Strait in January 2020

#### FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** The Bransfield Strait. Stations of the 79th cruise of the R/V Akademik Mstislav Keldysh. Blue bars — depth-integrated primary production values, mgC/m<sup>2</sup> per day.

**Fig. 2.** Vertical distribution of the chlorophyll a in the Bransfield Strait in January 2020.