

## Фотосинтетические пигменты фитопланктона южного колена Кольского залива (Баренцево море) в зимне-весенний период

В.В. Трофимова<sup>1</sup>, А.А. Олейник<sup>1</sup>, П.Р. Макаревич<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

<sup>2</sup> Биологический факультет МГТУ, кафедра биоэкологии

**Аннотация.** Приведены результаты исследований содержания фотосинтетических пигментов и видового состава фитопланктона южной части Кольского залива в зимне-весенний период. Максимальная концентрация хлорофилла *a* в период гидрологической зимы в поверхностном горизонте достигала 0.043 мкг/л, весной – 0.159 мкг/л. В придонном слое зимой этот показатель составил 0.043 мкг/л, в весенний период 0.119 мкг/л. Судя по концентрации хлорофилла *a*, феофитина *a*, индексу Маргалефа и соотношению каротиноиды/хлорофилл *a*, являющимися показателями физиологического состояния фитопланктона, фитоценоз в период наблюдений обладал низкой фотосинтетической и продукционной активностью. Невысокая численность и биомасса микроводорослей соответствуют сделанным выводам. Активное функциональное состояние фитопланктонного сообщества в период полярной ночи и отсутствия в южном колене Кольского залива характерного для побережья Баренцева моря пика ранневесеннего цветения микроводорослей, объясняются особенностями развития эстуарного пелагического фитоценоза.

**Abstract.** The investigation results of phytoplankton photosynthetic pigments and species composition in the southern part of the Kola bay in the winter-vernal period have been presented. The maximal chlorophyll *a* concentration during hydrological winter in the surface layer reached 0.043 µg/l, in spring – 0.159 µg/l. In the bottom layer this index was 0.043 µg/l, in the vernal period – 0.119 µg/l. On the basis of chlorophyll *a* concentrations, pheophytin *a*, Margalef index and carotenoids/chlorophyll *a* ratio – the indices of the phytoplankton physiological state – during the observation period phytocenosis possessed low photosynthetic and production activity. Low abundance and biomass of micro-algae have corresponded to the conclusions. The active functional state of phytoplankton community during the Polar night and lack of typical for the Barents Sea coastal zone early-vernal micro-algae blossom peak in the southern part of the Kola bay have been explained by the development peculiarities of the estuary pelagic phytocenosis.

### 1. Введение

Исследования фотосинтетических пигментов имеют большое практическое значение, в том числе и для оценки физиологического состояния фитопланктона. Данных о содержании хлорофилла в прибрежных водах Баренцева моря в зимне-весенний период немного (*Жизнь и условия...*, 1985; *Кузнецов, Шошина*, 2003). Более подробно изучены пигменты в весенне-летний и летне-осенний сезон (*Соколова, Соловьева*, 1971; *Ведерников, Соловьева*, 1972; *Соловьева*, 1973; 1975; 1976; *Соловьева, Чурбанова*, 1980; *Бобров*, 1982; *Савинов*, 1997; *Кузнецов, Шошина*, 2003). Фитопланктон Кольского залива, с точки зрения содержания и динамики фотосинтетических пигментов, изучен недостаточно (*Трофимова*, 2003).

Основная цель нашей работы заключалась в исследовании фотосинтетической активности фитопланктонного сообщества южной части Кольского залива (Баренцево море) в зимне-весенний период.

### 2. Материалы и методы

Материал был собран с декабря 2004 г. по май 2005 г. в стационарной точке (68°58'480 с.ш., 33°03'620 в.д.) южной части Кольского залива. Акваторию Кольского залива, в соответствии с особенностями морфометрии, подразделяют на три участка: северное, среднее и южное колено, которые совпадают с экологическим районированием пелагической зоны Кольского залива с использованием структурного анализа сообществ микропланктона (*Матишов и др.*, 2000). На основании этого анализа южное колено Кольского залива квалифицируют как эстуарную экосистему (*Матишов и др.*, 2000). Характерные черты эстуария прослеживаются в гидродинамическом режиме вод, устойчивой стратификации водных масс, и смешении в этом отрезке залива двух типов вод – речных (обусловленных впадением рек Туломы и Колы) и морских вод Баренцевоморского бассейна (*Кольский залив...*, 1997).

В ходе исследования пробы отбирались в фазу полной воды (*Европейские воды...*, 2004), 2-3 раза в месяц с поверхностного и придонного горизонта (глубина 8 м). Все мероприятия по отбору, фильтрации и дальнейшей обработке проб проводились в соответствии с межгосударственным стандартом. Объем профильтрованной воды в зимние месяцы составлял 20-30 литров (при низких

концентрациях хлорофилла), весной сократился до 10-20 литров. Фитопланктон осаждали на фильтры Whatman GF/F (диаметром 90 и 49 мм). Спектрофотометрирование экстракта осуществляли на UV-Visible спектрофотометре Nicolett Evolution 500 фирмы "Spectronic Unicam", Великобритания. Концентрации пигментов (хлорофилла  $a$ , феофитина  $a$  – продукта распада хлорофилла  $a$ , каротиноидов, индекс Маргалефа –  $D_{430}/D_{664}$ ) рассчитывали по формулам, приведенным в ГОСТе (Вода..., 2001).

Параллельно, согласно стандартным гидробиологическим методикам (Суханова, 1983; Федоров, 1979; Соловьева, 1976; Makarevich et al., 1993), изучали видовой состав, численность и биомассу фитопланктонного сообщества.

По концентрации хлорофилла  $a$  косвенным методом (Шемшура и др., 1990) был проведен расчет первичной продукции фитопланктона поверхностного горизонта. Для этого использовали уравнение, полученное В.Е. Шемшура с соавт. (1990) по экспериментальным данным из различных районов Мирового океана для поверхностного слоя моря:

$$\lg P_0 = 1.56 + 0.92 \lg C_0 \quad (r = 0.87, \text{ стандартная ошибка регрессии } 0.33),$$

где  $P_0$  – первичная продукция,  $\text{мг С м}^{-3} \cdot \text{день}^{-1}$ ,  $C_0$  – концентрация хлорофилла  $a$ ,  $\text{мкг/л}$ .

### 3. Результаты и обсуждение

В течение гидрологической зимы (период с ноября по март (Гидрометеорологические условия..., 1992)) в поверхностном горизонте зарегистрированы крайне низкие значения концентрации хлорофилла  $a$  от 0.009 до 0.043  $\text{мкг/л}$ , при среднем значении за этот период 0.024  $\text{мкг/л}$ . Весной этот показатель постепенно увеличивался от 0.059 до 0.159  $\text{мкг/л}$  (при среднем 0.132  $\text{мкг/л}$ ) (табл. 1). Численность фитопланктона в зимний период составила порядка 6 тыс. кл./л, биомасса не более 10  $\text{мкг/л}$ . Поверхностный горизонт пелагиали заселен комплексом преимущественно диатомовых водорослей пресноводного происхождения – *Asterionella formosa*, *Fragilaria sp.*, *Melosira jurgensii.*, *M. nummuloides* и морскими формами мелких жгутиковых (Gymnodiniacea). В ранневесенний период происходит постепенное увеличение численности (до 100 тыс. кл./л) и биомассы (до 150  $\text{мкг/л}$ ), в основном за счет развития неидентифицированных Pennatophyceae размерной фракции менее 30  $\mu\text{м}$ . В меньшей степени в сообществе представлены более крупные формы микроводорослей *Diatoma elongatum*, *Melosira jurgensii.*, *M. nummuloides*, *M. varians*, *M. granulata*. Известно (Матушиов и др., 2000), что присутствие в пелагиали южного колена Кольского залива видов как морского, так и пресноводного происхождения свидетельствует о типичном эстуарном характере структуры сообщества.

Таблица 1. Хлорофилл  $a$  и первичная продукция (рассчитанная косвенным методом) в южном колене Кольского залива в зимне-весенний период 2004-2005 гг.

Год, месяц горизонт	*С хл. $a$ , $\text{мкг/л}$		** $P_0$ , $\text{мг С м}^{-3} \cdot \text{день}^{-1}$
	поверхностный	придонный	поверхностный
2004/12	0.024	0.043	1.17
	0.043	0.015	1.99
2005/01	0.016	0.013	0.80
	0.013	0.012	0.64
2005/02	0.043	0.017	2.01
	0.021	0.026	1.03
2005/03	0.009	0.015	0.49
	0.039	0.017	1.82
	0.011	0.015	0.58
среднее за зимний период	0.024	0.019	1.17
2005/04	0.059	0.022	2.70
	0.086	0.009 0.018	3.82
2005/05	0.194	0.013	8.02
	0.159	0.119	6.69
	0.159		6.69
среднее за весенний период	0.132	0.036	5.41

Примечание: \*С хл.  $a$  – концентрация хлорофилла  $a$  (с поправкой на феофитин  $a$ ), \*\* $P_0$  – первичная продукция.

В придонном горизонте зимой содержание хлорофилла  $a$  составляло 0.012-0.043 мкг/л (среднее 0.019 мкг/л). В апреле-мае концентрация исследуемого пигмента изменялась от 0.009 до 0.119 мкг/л, при среднем значении за этот период 0.036 мкг/л (табл. 1). Численность фитопланктона в зимние месяцы в придонном горизонте составила 3-9 тыс. кл./л, биомасса 10-20 мкг/л. На 50 % эти показатели формируют мелкие жгутиковые (Flagellata и Gymnodiniacea), остальная часть сообщества представлена пресноводными и морскими диатомовыми микроводорослями *Biddulphia aurita*, *Gyrosigma fasciola*, *Rhabdonema minutum*, *Melosira jurgensii*, *M. moniliformis*. С конца апреля численность возросла до 100-150 тыс. кл./л, биомасса до 100 – 140 мкг/л. В этот период основными доминантами являются морские виды весеннего комплекса *Melosira nummuloides*, *M. jurgensii*, *Chaetoceros socialis*, *C. furcellatus*, *Thalassiosira nordenskiöldii*, *T. gravida*.

Представленные за зимний период значения концентрации хлорофилла  $a$  соответствуют нижней границе этого показателя (0.01 мкг/л), указанной для Баренцева моря в зимние месяцы (*Жизнь и условия...*, 1985). Предшествующие исследователи побережья Баренцева моря (*Кузнецов, Шошина*, 2003) сообщают, что хлорофилл  $a$  вплоть до марта присутствовал в следовых количествах. Вероятно, наблюдаемая нами картина типична для зимнего состояния пелагического альгоценоза прибрежной зоны Баренцева моря. По литературным данным известно, что весенняя активизация в развитии фитопланктона Баренцева моря обычно происходит в апреле и приурочена к губам, заливам и районам мелководий (*Роухияйнен*, 1961). Так, например, первый пик развития водорослей в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море) в 1984 г. начался со второй декады апреля, концентрация хлорофилла  $a$  при этом составила 2.7 мкг/л (*Кузнецов, Шошина*, 2003). В среднем колене Кольского залива в 1994 г. первый пик развития фитопланктона был отмечен в конце апреля (*Кольский залив...*, 1997). Данные нашего исследования (концентрация хлорофилла, численность и биомасса фитопланктона) не позволяют говорить о вспышке активного развития водорослей в весенний период, фотосинтетическая активность фитопланктона еще невелика. Начиная с апреля, идет постепенное нарастание содержания хлорофилла  $a$  в поверхностном горизонте. В придонном слое концентрация исследуемого пигмента остается на уровне зимних месяцев.

Отсутствие в южном колене Кольского залива характерного для побережья Баренцева моря пика ранневесеннего цветения, возможно, связано с особенностями эстуарного (автохтонного) фитопланктонного сообщества исследуемого района, которое, как отмечено в работе (*Muylert et al.*, 2000), развивается летом при повышении температуры воды. Подобное предположение подтверждает мониторинг Кольского залива 2003 г. (*Трофимова*, 2003), в ходе которого не было выявлено весеннего цветения водорослей, а пик развития фитопланктона наблюдался в летние месяцы.

Показателем общего обилия фитопланктона служит количество хлорофилла. В настоящее время разработаны косвенные методы оценки первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу  $a$ , как менее трудоемкие и более экспрессные по сравнению со стандартным радиоуглеродным методом. Полученные расчетным путем (*Шемишур и др.*, 1990) значения первичной продукции для поверхностного горизонта представлены в табл. 1. В течение гидрологической зимы среднее значение этого показателя составило 1.17 мг С·м<sup>-3</sup>·день<sup>-1</sup>, в апреле-мае увеличилось до 5.41 мг С·м<sup>-3</sup>·день<sup>-1</sup>. О продукционном цикле фитопланктона в прибрежных водах Мурмана известно следующее: в период полярной ночи продуцирование в пелагиали за счет фотосинтеза полностью прекращается, и только в конце марта – начале апреля происходит резкое преобладание процессов продукции над деструкцией и достижение первого весеннего максимума развития водорослей (*Жизнь и условия...*, 1985). По нашим данным, продукционная деятельность фитопланктона в период исследования невелика, однако не прекращается полностью даже в зимние месяцы, что, по мнению *П.П. Макаревича* (2004), является отличительной чертой именно эстуарных пелагических фитоценозов. Так, например, в 2000-2001 гг. в южной части акватории Кольского залива в период полярной ночи фитоценоз находился в состоянии активного функционирования (*Макаревич и др.*, 2004). Его основу составляли организмы, характеризующиеся автотрофным типом питания (хлорофилл в клетках находился в активном состоянии). Подобный факт доказывает, что минимальный уровень солнечной радиации во время полярной ночи оказывается достаточным для протекания в клетках процесса фотосинтеза (*Макаревич*, 2004). Самые низкие величины первичной продукции, описанные для побережья Баренцева моря в марте (губа Дальнезеленецкая), – 0.53 мг С м<sup>-3</sup>·день<sup>-1</sup> (*Жизнь и условия...*, 1985), соизмеримы с рассчитанными нами данными за этот период.

Использование в качестве характеристик физиологического состояния фитопланктона содержания феофитина  $a$ , индекса Маргалефа и соотношения каротиноиды/хлорофилл  $a$  позволяет более полно оценить процессы, происходящие в сообществе фотосинтетиков.

В поверхностном горизонте показатель индекса Маргалефа в период "зима-весна" находился на очень высоком уровне (от 2.82 до 5.58) (табл. 2). Аналогично изменялись параметры и в придонном

горизонте (от 3.02 до 6.25). Индекс Маргалефа работает как маркер отношения гетеротрофного метаболизма в сообществе к автотрофному. Это отношение обычно мало (от 1 до 2) в молодых культурах или во время цветения водорослей, когда дыхание невелико, и составляет 3-5 в стареющих культурах или планктонных сообществах в конце лета, при интенсивном дыхании (Одум, 1975). Полученные в нашей работе на обоих горизонтах значения индекса Маргалефа более 3 свидетельствуют о низкой фотосинтетической активности планктона и преобладании процессов гетеротрофного метаболизма в сообществе в целом.

Этот вывод подтверждает и то, что в поверхностном горизонте на протяжении гидрологической зимы, а в придонном слое – всего периода исследований, соотношение каротиноиды/хлорофилл *a* находилось на очень высоком уровне (в среднем 6.69 – поверхностный и 5.93 – придонный горизонт) (табл. 2). И только в поверхностном слое весной это соотношение уменьшилось и в среднем составило 2.39. Известно (Курейшев и др., 1999), что отношение содержания каротиноидов к хлорофиллу *a* является показателем уровня функциональной активности фитоценоза. Повышение этого соотношения свидетельствует об угнетенном состоянии водорослей (Курейшев и др., 1999) либо о старении сообщества (Елизарова, 1973). По неопубликованным авторским данным мониторинга Кольского залива 2003 г., это соотношение равно 1-2 в период активного развития водорослей в летний период.

Среднее содержание в поверхностном слое феофитина *a* в течение гидрологической зимы составило 79.6 %, и лишь весной снизилось до 52.9 % (табл. 2). Для придонного горизонта не выявлено тенденции к уменьшению количества феофитина к концу весны, в течение всего периода наблюдений содержание феофитина *a* составляло 70-80 % (табл. 2).

Скорее всего, наблюдаемое нами соотношение хлорофилла *a* и феофитина *a* в поверхностном слое характерно для зимы и свидетельствует о низкой активности фитопланктонного сообщества (литературные данные для сравнения по данному сезону в прибрежной части Баренцева моря, и в южном колене Кольского залива в частности, отсутствуют). При этом для морского фитопланктона характерно постоянное повышенное содержание неактивных форм пигментов около 60 % (Бульон, 1978). Сведений о содержании феофитинов в придонном горизонте в районе наших работ нет. По данным В.В. Бульона, хлорофилл, накапливающийся ниже термоклина, представлен преимущественно неактивными формами. Можно только предполагать, что подобная картина типична для рассматриваемого сезона года в придонном горизонте южного колена Кольского залива.

Таблица 2. Индекс Маргалефа, каротиноиды/хлорофилл *a*, феофитин *a* в южном колене Кольского залива в зимне-весенний период 2004-2005 гг.

Год, месяц горизонт*	Индекс Маргалефа (D <sub>430</sub> /D <sub>664</sub> )		Каротиноиды/хл. <i>a</i>		феофитин <i>a</i> (% от суммы с чистым хл. <i>a</i> )	
	1	2	1	2	1	2
2004/12	4.27	3.24	5.65	4.56	79.9	80.8
	4.21	6.25	3.40	4.60	64.6	67.3
2005/01	5.58	4.62	7.65	6.05	84.0	78.3
	3.33	4.22	6.41	6.72	84.5	77.5
2005/02	3.87	3.95	4.82	5.21	72.5	75.0
	4.96	4.30	7.73	4.10	79.5	61.8
2005/03	3.95	3.95	8.21	6.93	88.1	86.2
	3.01	4.12	3.32	4.32	73.8	67.7
	5.14	4.84	12.99	4.95	89.3	86.2
среднее за зимний период	4.26	4.39	6.69	5.27	79.6	75.7
2005/04	3.62	3.07	3.25	6.15	65.5	81.7
	3.47	4.05	1.28	9.81	38.3	92.2
2005/05	3.49	5.36	1.33	5.69	25.0	75.5
	3.71	3.02	2.21	3.86	54.5	81.3
	2.82		3.89		81.2	
среднее за весенний период	3.42	4.17	2.39	5.93	52.9	80.4

Примечание: \*1 – поверхностный, 2 – придонный горизонт.

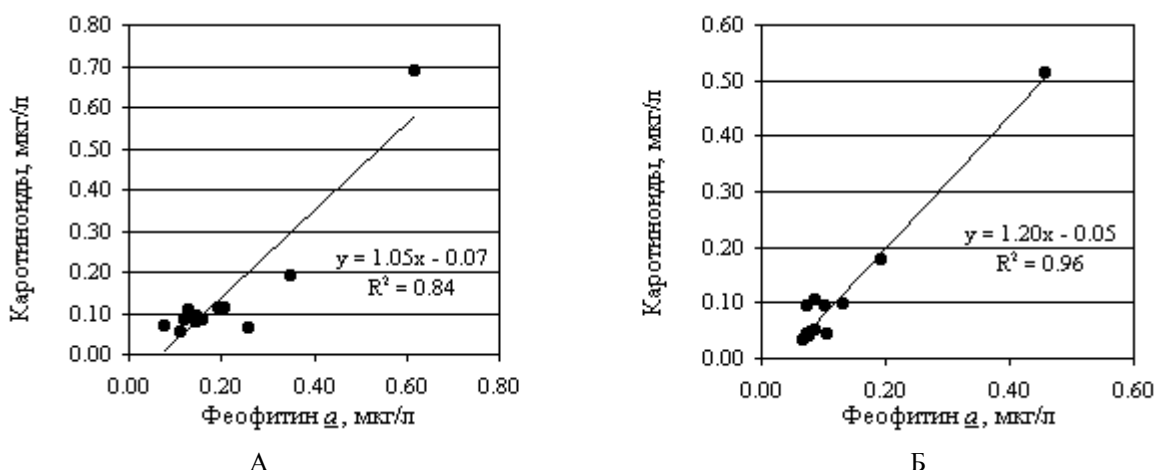


Рис. 1. Корреляция между каротиноидами и феофитином  $a$  в поверхностном (А) и придонном (Б) горизонте

Как указывает В.В. Бульон (1978), увеличение доли феопигментов сопровождается возрастанием доли желтых пигментов (каротиноидов), которые разрушаются медленнее, чем хлорофилл. В нашей работе выявлена положительная корреляция между содержанием каротиноидов и феопигментов (в поверхностном горизонте коэффициент корреляции  $R^2 = 0.84$ , в придонном  $R^2 = 0.96$ ) (рис. 1), что напрямую связано с отмеченным ранее высоким отношением каротиноиды/хлорофилл  $a$ .

#### 4. Заключение

Содержание фотосинтетических пигментов морского фитопланктона в зимне-весенний период характеризует фитопланктонное сообщество южного колена Кольского залива Баренцева моря как обладающее низкой фотосинтетической и продукционной активностью, которая, тем не менее, не прекращается полностью даже в период полярной ночи. Этот вывод подтверждают измеренные в зимний период в поверхностном горизонте концентрации хлорофилла  $a$  (до 0.043  $\mu\text{g/l}$ ), а также результаты количественных показателей сообщества в этот сезон (численность – в пределах 6 тыс. кл./л, биомасса не более 10  $\mu\text{g/l}$ ). В конце весны отмечено увеличение концентрации хлорофилла  $a$  до 0.159  $\mu\text{g/l}$ , биомассы (до 150  $\mu\text{g/l}$ ) и численности (до 100 тыс. кл./л). В придонном горизонте эти показатели характеризовались сходной динамикой и абсолютными значениями. Однако, как и в предшествующий год, в районе исследований отсутствовала характерная для побережья Баренцева моря вспышка ранневесеннего цветения пелагических микроводорослей, сопровождающаяся резким скачком количественных показателей. В течение всего периода исследований отмечены повышенные значения таких характеристик физиологического состояния фитопланктона, как содержание феофитина  $a$ , индекса Маргалефа и соотношение каротиноиды/хлорофилл  $a$ , что рассматривается как показатель низкой фотосинтетической активности фитопланктонного сообщества.

Выявленные в южном колена Кольского залива специфические черты развития фитоценоза (функциональная активность в период полярной ночи, отсутствие характерного для побережья Баренцева моря пика ранневесеннего цветения), скорее всего, связаны с особенностями сезонной вегетации сообщества эстуарного фитопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-04-48346а).

#### Литература

- Makarevich P.R., Larionov V.V., Druzhkov N.V. Mean weights of dominant phytoplankton species of the Barents Sea. *Альгология*, v.13, N 1, p.103-106, 1993.
- Muylaert K., Sabbe K., Vyvermann W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium). *Estuarine, Coast. and Shelf Sci.*, v.50, N 5, p.673-687, 2000.
- Бобров Ю.А. Первичная продукция фитопланктона Белого и прибрежной зоны Баренцева морей. Планктон прибрежных вод Восточного Мурмана. *Анатомы, КФ АН СССР*, с.3-24, 1982.
- Бульон В.В. Содержание феопигментов в планктоне (Обзор). *Гидробиол. журн.*, т.14, № 3, с.62-69, 1978.

- Ведерников В.И., Соловьева А.А.** Первичная продукция и хлорофилл в прибрежных водах Баренцева моря. *Океанология*, т.12, вып. 4, с.669-676, 1972.
- Гидрометеорологические условия Кольского залива Баренцева моря. Баренцево море. Под ред. В.А. Потанина. *Ленинград, МФ НАМИИ*, т.6, вып.5, с.1-30, 1992.
- Государственный контроль качества воды. М., *ИПК Издательство стандартов*, с.551-563, 2001.
- Европейские воды России. М., *Изд-во Главного управления навигации и океанографии*, с.10-12, 2004.
- Елизарова В.А.** Состав и содержание растительных пигментов в водах Рыбинского водохранилища. *Гидробиол. журн.*, т.9, № 2, с.23-33, 1973.
- Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. *Апатиты, КФАН СССР*, с.105-116, 1985.
- Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Под ред. Г.Г. Матишова. *Апатиты, КНЦ РАН*, 265 с., 1997.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В.** Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). *Апатиты, КНЦ РАН*, с.48-75, 2003.
- Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А.** Многолетняя динамика содержания хлорофилла *a* и особенности развития фитопланктона в Днепродзержинском водохранилище. *Гидробиол. журн.*, т.35, № 2, с.49-62, 1999.
- Макаревич П.Р.** Структура и функционирование планктонных альгоценозов эстуарных экосистем шельфовых морей. *Автореф. дис. ... доктора биол. наук. Мурманск*, 45 с., 2004.
- Макаревич П.Р., Ларионов В.В., Дружкова Е.И.** Динамика фитопланктона в эстуарных областях северных морей в период полярной ночи. *Альгология*, № 2, с.137-142, 2004.
- Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Макаревич П.Р., Дружкова Е.И., Намятов А.А.** Экологическое районирование пелагической зоны Кольского залива (Баренцево море) с использованием структурного анализа сообществ микропланктона. *Докл. РАН*, т.327, с.568-570, 2000.
- Одум Ю.** Основы экологии. М., "Мир", 84 с., 1975.
- Роухияйнен М.И.** Особенности весеннего развития фитопланктона в 1955-1957 гг. Гидрологические и биологические особенности прибрежных вод Мурмана. *Мурманск*, с.98-109, 1961.
- Савинов В.М.** Фотосинтетические пигменты и первичная продукция Баренцева моря: пространственное распределение. Планктон морей Западной Арктики. *Апатиты, КНЦ РАН*, с.127-145, 1997.
- Соколова С.А., Соловьева А.А.** Первичная продукция в губе Дальнезеленецкой (прибрежье Мурмана) в 1967 г. *Океанология*, т.11, вып.3, с.460-469, 1971.
- Соловьева А.А.** Динамика численности фитопланктона и содержания хлорофилла *a* в губе Дальнезеленецкой (Баренцево море). *Гидробиол. журн.*, т.11, № 4, с.26-31, 1975.
- Соловьева А.А.** Первичная продукция и фитопланктон в прибрежных водах Баренцева моря. Биология Белого и Баренцева морей. *Апатиты, КФАН СССР*, с.25-32, 1976.
- Соловьева А.А.** Первичная продукция фитопланктона заливов восточного Мурмана. *Гидробиол. журн.*, т.9, № 4, с.14-19, 1973.
- Соловьева А.А., Чурбанова И.В.** Суточная динамика фитопланктонного сообщества в прибрежье Баренцева моря. *Гидробиол. журн.*, т.16, № 2, с.15-20, 1980.
- Суханова И.Н.** Концентрирование фитопланктона в пробе. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М., *Наука*, с.97-108, 1983.
- Трофимова В.В.** Сезонная динамика содержания хлорофилла *a* в пелагической экосистеме Кольского залива. *Материалы XXII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, Мурманск, ММБИ КНЦ РАН*, с.172-178, 2004.
- Федоров В.Д.** О методах изучения фитопланктона и его активности. М., *МГУ*, 168 с., 1979.
- Шемшура В.Е., Финенко З.З., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К.** Оценка первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу *a*, относительной прозрачности и спектрам восходящего излучения. *Океанология*, т.30, вып.3, с.479-485, 1990.