

УДК 574.587 + 581.552

## Изменения структуры литоральных фитоценозов Мурмана при антропогенном воздействии

С.В. Малавенда<sup>1</sup>, Д.Г. Комракова<sup>2</sup>, С.С. Малавенда<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра биологии

**Аннотация.** Выполнен сравнительный анализ видовой структуры литоральных фитоценозов Кольского залива и губы Ура с экологически чистой губой Ярнышная. Выявлены особенности фитоценозов защищенных участков Мурмана, обусловленные антропогенным влиянием, упрощение видовой структуры и снижение видового разнообразия эпифитов. Определены наиболее устойчивые к антропогенному воздействию в условиях высоких широт виды макрофитов.

**Abstract.** The comparative analysis of specific structure of literal phytocenoses of the Kola Bay and the bay of Ura with the environmentally friendly bay Yarnyshnaya has been made. Some features of phytocenoses of the protected sites of Murman caused by antropogenic influence have been shown. Simplification of specific structure and decrease in the specific variety of epiphytes have been revealed. The most stable to the antropogenic influence macrophytes in the conditions of high latitudes have been defined.

**Ключевые слова:** литораль, фитоценозы, видовое разнообразие, Баренцево море, Кольский залив

**Key words:** intertidal zone, phytocenoses, species diversity, the Barents Sea, the Kola Bay

### 1. Введение

Определение устойчивости прибрежных биоценозов, особенно в условиях высоких широт и эстуариев – одна из злободневных и трудно решаемых проблем. Имеющиеся сведения и методики не создают полной картины. Наиболее распространенными показателями, характеризующими изменения в сообществах, являются: число видов и их состав, индексы видового разнообразия, тип или численность доминирующего вида, а для популяций доминирующих видов – обилие, пространственная структура и временная изменчивость (*Новые технологии...*, 2009). Фитоценозы Кольского залива как важнейшей части Баренцева моря, испытывающей антропогенную нагрузку более ста лет, активно исследуются в последнее время. При сравнении литоральных фитоценозов Кольского залива и губы Ярнышная (расположенной восточнее примерно на 200 км) выявлено существенное снижение видового обилия, увеличение доли зеленых водорослей, снижение суммарной поглощающей площади сообщества (*Завалко, Шошина, 2008*). На основании обширных наблюдений была разработана шкала деградационных изменений, включающая спектр показателей на разных уровнях организации растительных сообществ (*Новые технологии...*, 2009). Но в данной шкале на уровне сообщества обращается внимание только на снижение числа видов и отмечается, что индексы видового разнообразия уменьшаются при сильном антропогенном воздействии. В то же время в целом ряде работ показано изменение структуры донных фитоценозов при эвтрофикации (*Завалко, 1988; Мой, Christie, 2012; Yang, 2012; Pedersen et al., 2008* и др.). Цель данной работы – определить особенности видовой структуры литоральных фитоценозов защищенных от прибоя участков литорали Мурмана, подверженных антропогенному влиянию: видовой состав и обилие отдельных видов.

### 2. Материалы и методы

Исследование проводили в Кольском заливе и г. Ура (кут) Баренцева моря и экологически чистой г. Ярнышная (рис. 1). Краткая гидрологическая характеристика участков отбора проб отражена в табл. 1. Прибойность оценивали визуально в баллах по шкале Гурьяновой с соавт. (*Гурьянова и др., 1930*). Определяли интенсивность движения воды (ИДВ) методом гипсовых шаров (*Muus, 1968*): в каждой точке отбора проб трижды за сезон было поставлено по 15 гипсовых шаров массой 30 г. на сутки. Полученная величина – скорость растворения гипса в воде,  $\cdot 10^{-3}$ , мгCaSO<sub>4</sub>/г\*ч, характеризует суммарное воздействие волнового, приливно-отливного и турбулентного движения воды. При отборе проб визуально описывали грунт, определяли соленость и температуру воды. Температурный и соленостный режим дополнительно описывали по литературным данным (*Матишов и др., 1998*).

Пробы были отобраны в октябре 2011 г. и августе-сентябре 2012 г. методом вертикальных трансект по три пробы с каждого горизонта литорали. Дополнительно были отобраны и обработаны качественные пробы для уточнения данных о видовом составе (Блинова, 1965).

Видовая идентификация выполнена по классическим определителям (Зинова, 1953; 1955; Виноградова, 1974; Шошина, 2005), а также по ключам, приведенным в ряде систематических работ (Перестенко, 1965; Виноградова, 2005; 2007; 2011). Современные названия видов и синонимия были сверены по международной базе данных AlgaeBase (Guiry et al., 2005).

Определение общей биомассы и каждого вида в пробе осуществлено с точностью до 0,1 г, кроме корковых известковых и тех случаев, когда масса образца была менее 0,1 г. Для каждой станции было рассчитано видовое богатство как число видов на 1 м<sup>2</sup>.

Видовое разнообразие оценивали индексами Шеннона и Симпсона. Видовой состав на разных станциях сравнивали с применением индекса Серенсена, а биомассы – парным тестом Стюдента. Расчёты проводились в Excel 2007 и PAST.

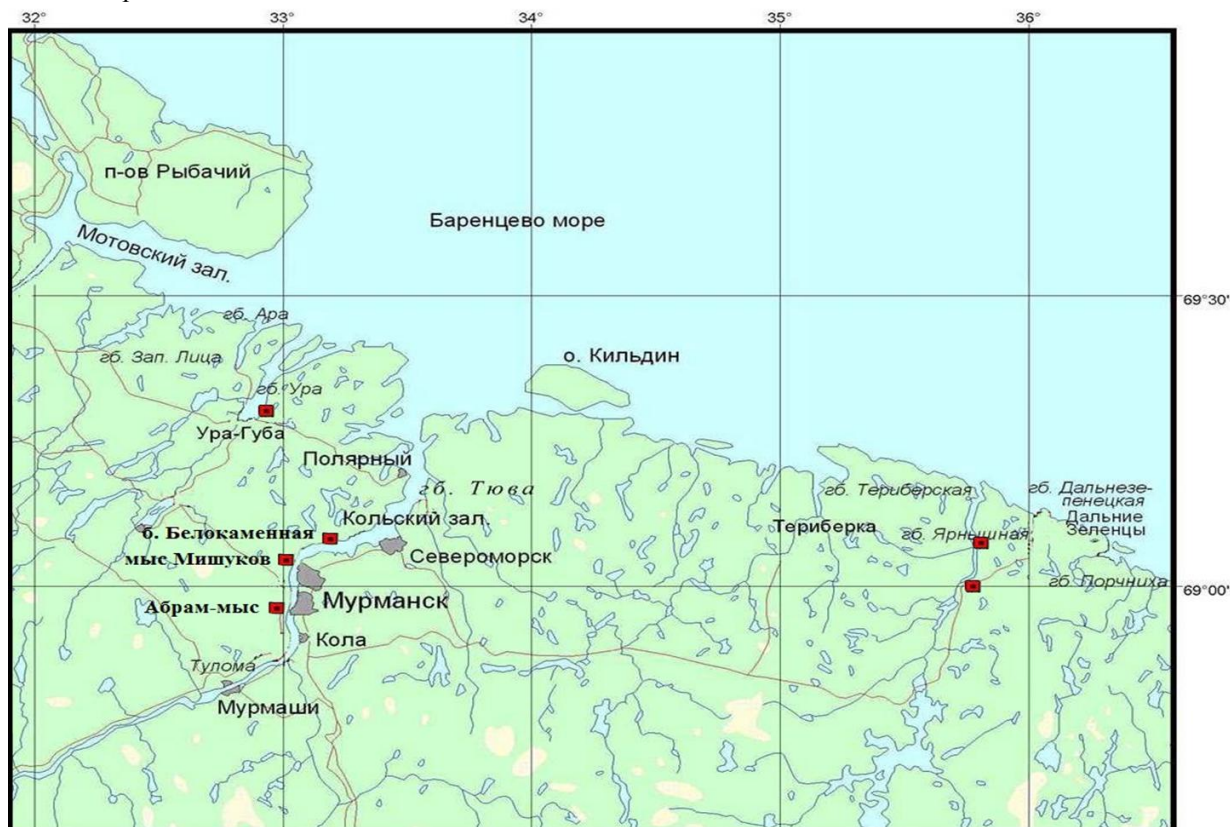


Рис. 1. Карта-схема отбора проб

### 3. Результаты и обсуждения

#### Условия обитания

Грунт во всех местах отбора проб представлен валунами на илисто-песчаном основании, пробы отбирали так, чтобы валуны занимали 50-60 % площади пробы. Визуально доля ила выше в куту губ Ярнышная и Ура, на м. Абрам-Мыс Кольского залива.

Прибойность в районах исследования определена как IV, т.е. прибой отсутствует. Только в б. Белокаменная прибойность можно определить как переходную к III, т.е. прибой может наблюдаться во время наиболее сильных штормов. ИДВ также сниженная и характерна для защищенных местообитаний (табл. 1). Соленость в защищенной части г. Ярнышная и вблизи м. Абрам-Мыс ниже, чем на других участках: в период малой воды в летний сезон соленость поверхностного слоя снижается до 5-10. Температурный режим примерно одинаков в летне-осенний период.

Воды Кольского залива, особенно его южной части, характеризуются высоким уровнем загрязнения: начиная с 2004 г. индекс загрязненности вод оценивается как грязные. В торговом порту г. Мурманска под влиянием сточных вод и последствий перегрузки апатитовой руды, устойчиво повышенное содержание соединений азота и фосфора. В водах залива присутствуют тяжелые металлы

(медь и марганец), нефтепродукты и органические вещества (Доклад..., 2012). По данным за 2011 г. превышение ПДК выявлено для тяжелых металлов.

Таблица 1. Гидрологическая характеристика участков отбора проб в летний и осенний сезоны

Район отбора проб	ИДВ, *10 <sup>-3</sup> , мгCaSO <sub>4</sub> /г*ч	Соленость, промилле	Температура воды, °С
Б. Бобровая губы Ярнышная	7	10-34	5-9
Кут г. Ярнышная	5	5-34	5-10
Кут г. Ура	5	20-34	6-12
М. Мишуков Кольского залива	8	25-34*	5-9*
М. Абрам-Мыс Кольского залива	8	10-33*	5-10*
Б. Белокаменная Кольского залива	3	25-34*	5-9*

Примечание: \* – данные по Матишов и др., 1998.

#### Поясность и биомасса макрофитов

Структура зарослей макроводорослей в исследуемых районах представлена следующим образом. Верхний горизонт практически не несёт растительности. Доминируют на среднем горизонте литорали на всех исследованных участках *Fucus vesiculosus* L. и *Ascophyllum nodosum* Le Jolis., в куту г. Ярнышная многочисленным является также *Rizoclonium riparum* (Roth) Harvey. Доминанты нижнего горизонта более разнообразны. На м. Мишуков наряду с *F. distichus* выявлена ассоциация зелёных водорослей *R. riparium* + *Blidingia minima* (Näg.) Kylin. В районе Абрам-Мыса доминирует *Fucus distichus* L. с эпифитирующими *Pylaiella varia* и *P. littoralis*. В б. Белокаменная выявлены разреженные заросли *Saccharina latissima* (L.) Lane, Mayes, Druehl et Saunder. В б. Бобровая губы Ярнышная смешанные заросли *F. serratus* и *F. distichus* L., *P. palmata* и *Devaleraea ramentacea*, в куту – *F. distichus*. В кутовой части г. Ура формируются смешанные заросли *F. vesiculosus* и *F. disticus*.

Поясность фукусовых водорослей на литорали исследованных участков берега является типичной для защищенной литорали Мурмана (Блинова, 1965; Кузнецов, Шошина, 2003), а разнообразие доминантов нижней литорали связано прежде всего с гидролого-гидрохимическими особенностями. В б. Белокаменная в связи с несколько большей степенью прибойности и меньшим уровнем распределения на нижнем горизонте литорали закономерно доминирует *S. latissima*. Но преобладание песка, подвижного субстрата снижает проективное покрытие дна водорослями до 1-5%. В куту г. Ура преобладание ила и песка на пологой литорали (уклон около 5°) вызывает смешение поясов *F. distichus* и *F. vesiculosus*, что характерно для защищенной пологой литорали Мурмана (Блинова, 1965).

Биомасса изученных фитоценозов также была в ряду типичных значений и тесно связана с проективным покрытием дна водорослями (табл. 2).

Таблица 2. Общая характеристика исследуемых фитоценозов

Станция	Биомасса, г/м <sup>2</sup> *	Число видов	Видовое разнообразие	
			Индекс Шеннона	Индекс Симпсона
Б. Бобровая губы Ярнышная	7507 ± 725,9	22	1,456	0,710
Кут г. Ярнышная	4308 ± 2936,5	23	1,203	0,629
Кут г. Ура	2764 ± 1785,7	7	0,678	0,396
М. Мишуков	5896 ± 3140,3	11	1,210	0,682
М. Абрам-Мыс	4334 ± 3085,8	13	1,301	0,707
Б. Белокаменная	1739 ± 1579	12	1,509	0,725

Примечание: \* – приведена средняя биомасса со стандартным отклонением.

#### Видовое разнообразие

На литорали исследованных участков г. Ярнышная было отмечено вдвое больше видов, чем в эксплуатируемых участках (табл. 2). На литорали Кольского залива отмечается уменьшение числа видов с уменьшением биомассы видов-доминантов, что может быть обусловлено длительным воздействием тяжелых металлов. Сведения о токсичном воздействии тяжелых металлов, в частности меди, никеля и марганца показаны для ряда водорослей (Матвова, 2007; Брагинский, Линник, 2003; Будников, 1998; Гайсина, Хайббулина, 2007). Снижение видового богатства Кольского залива за период освоения было отмечено также при сравнении с г. Зеленецкая (Завалко, Шошина, 2008) и описаниями 1912 г. (Малавенда, Малавенда, 2012).

Значения индексов видового разнообразия в районах исследования сходны (табл. 2). Исключение составляет фитоценоз кута г. Ура, что может быть связано с очень низким проективным покрытием дна водорослями. Ранее было показано, что индексы видового разнообразия снижаются только при очень серьезном повреждении биоценозов (*Новые технологии...*, 2009). Это может быть обусловлено тем, что уменьшение числа видов часто компенсируется большей выровненностью видов: небольшое число видов занимает освободившееся пространство.

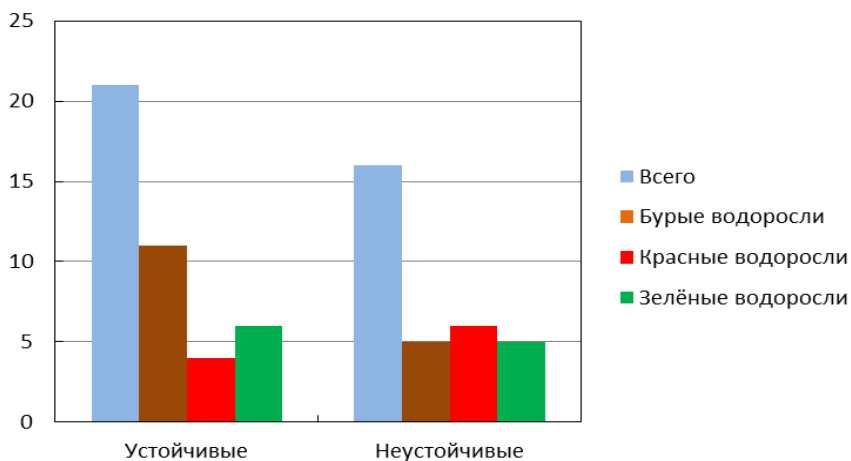


Рис. 2. Сравнение видов по устойчивости к антропогенному воздействию. По оси ординат – число видов

Виды, отмеченные за период наблюдений в эксплуатируемых районах, можно считать устойчивыми. Выделено 24 таких вида. Наиболее обильны бурые (роды *Fucus* и *Pylaiella*) и зелёные водоросли (роды *Ulva*, *Ulvaria*) (табл. 3). Виды, встречающиеся только на литорали г. Ярнышная, нами определены как неустойчивые к загрязнению. Большинство обнаруженных в пробах видов бурых и зеленых водорослей – устойчивые, красных – неустойчивые (рис. 2). При сравнении полученных данных с литературными (*Завалко, Шошина, 2008*) выяснилось, что нами был расширен список устойчивых видов на 7, но в пробах не было встречено 5 других видов, не входящих в число указанных нами как неустойчивые. Очевидно, что не отмеченные нами виды формируют очень низкую биомассу на литорали участков берега, подверженных антропогенному воздействию.

Таблица 3. Видовой состав исследованных фитоценозов

Вид	Губа Ярнышная		Кут губы Ура	Кольский залив		
	Кут	Б. Бобровая		М. Абрам-Мыс	М. Мишуков	Б. Белокаменная
<b>Устойчивые виды</b>						
<i>Acrosiphonia arcta</i> (Dillw.) Gain	+	+	+	+	+	+
<i>Blidingia minima</i> (Nag. Ex Kütz.) Kylin	+	+	+			
<i>Pseudothrix groenlandica</i> (J. Ag) Hanic et Lindstrom	+	+	+			
<i>Chaetomorpha melagonium</i> (Web. Et Mohr) Kütz.	+	+				+
<i>Monostroma grevillei</i> (Thur.) Wittr.	+	+		+	+	+
<i>Rhizoclonium riparum</i> (Roth.) Harvey	+	+				+
<i>Ulva intestinalis</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Ulvaria obscura</i> (Kütz.) Gayral et C. Bliding	+	+		+	+	+

<i>Alaria esculenta</i> (L.) Grev.						+
<i>Ascophyllum nodosum</i> (L.) Le Jolis	+	+		+	+	+
<i>Chordaria flagelliformis</i> (Mull.) C. Ag.				+		
<i>Dictyosiphon foeniculaceus</i> (Huds.) Grev.	+	+				+
<i>Elachista fucicola</i> (Velley) Aresch.		+	+	+		
<i>Fucus distichus</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Fucus serratus</i> L.		+		+	+	+
<i>Fucus vesiculosus</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Pylaiella littoralis</i> (L.) Kjellm.	+	+	+	+	+	+
<i>Pylaiella varia</i> Kiellman	+	+	+	+	+	+
<i>Saccharina latissima</i> (L.) Lane, Mayes, Druehl et Saunders				+	+	+
<i>Devaleria ramentacea</i> (L.) Guiri	+	+				+
<i>Hildenbrandtia prototypus</i> Nardo	+	+	+	+	+	+
<i>Palmaria palmata</i> (L.) Kuntze	+	+		+	+	+
<i>Polisiphonia arctica</i> J. Ag.	+	+			+	
<i>Porphyra umbilicalis</i> (L.) Kütz.	+	+		+	+	+
<b>Неустойчивые виды</b>						
<i>Blidingia chadefaudii</i> (Feldmann) Bliding	+					
<i>Cladophora sericea</i> Cladophora sericea	+	+				
<i>Chaetopterus plumosa</i> (Lyngby) Kutz.		+				
<i>Chorda filum</i> (L.) Stackhouse	+					
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngbye	+	+				
<i>Stictyosiphon tortilis</i> (Gobi) Reince	+					
<i>Cystoclonium purpureum</i> (Huds.) Batters		+				
<i>Membranoptera alata</i> (Huds.) Stackhouse		+				
<i>Polysiphonia lanosa</i> (L.) Tandy	+					
<i>Polisiphonia fucoides</i> (Huds.) Greville	+	+				
<i>Polyides rotundus</i> (Gmelin) Grev.		+				
<i>Ptilota gunneri</i> Silva, Maggs et Irvine	+					

Выявлено снижение биомассы эпифитов фукоидов (*F. vesiculosus*, *F. distichus*, *F. serratus*) на исследованных участках Кольского залива. Биомасса эпифитов в г. Ярнышная составила в среднем  $43,08 \pm 23,14$  г/м<sup>2</sup>, на изученных участках Кольского залива – только  $0,42 \pm 0,30$  г/м<sup>2</sup>. Снижено также отношение эпифитов к биомассе базифитов. В составе эпифитов в Кольском заливе выявлено только три вида, преобладает *Pylaiella littoralis*. В куту г. Ура биомасса эпифитов и их отношение к биомассе фукоидов аналогичны таковым в экологически чистом районе (г. Ярнышная).

Одной из причин выявленных изменений литоральных фитоценозов возможно является хроническое загрязнение Кольского залива тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

#### 4. Заключение

На основании полученных результатов показано, что при антропогенном воздействии в литоральных фитоценозах Мурманского залива упрощается видовая структура:

- снижается видовое богатство, главным образом за счет красных и зеленых водорослей;
- уменьшается биомасса эпифитов и изменяется их видовой состав, преобладают *Pylaiella littoralis* и *P. varia*;
- увеличивается выравненность видов по обилию в связи с исчезновением видов с низкой биомассой.

По шкале состояний донных фитоценозов (*Новые технологии...*, 2009) фитоценозы южного колена Кольского залива можно оценить как среднетрещенные, поскольку наблюдается снижение количества видов, уменьшение проростков и выпадение отдельных возрастных групп у доминирующих форм на фоне общего снижения биомассы макрофитов. Сильно поврежденными являются фитоценозы б. Белокаменная, так как выявлено только небольшое число устойчивых видов.

**Благодарности.** Выражаем глубокую благодарность научным сотрудникам ММБИ КНЦ РАН Ольге Станиславовне Любиной и Ольге Леонидовне Зиминной за консультации.

#### Литература

- Guiry M.D., NickDhonnCha E., Rindi F.** AlgaeBase version 3.0. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, Ireland. 2005. URL: <http://www.algaebase.org>.
- Mamboya F.A.** Heavy metal contamination and toxicity: Studies of macroalgae from the Tanzanian Coast. *Thesis, Stockholm*, p. 1-48, 2007.
- Moy F.E., Christie H.** Large-scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. *Marine Biology Research*, v. 8, N 4, p. 309-321, 2012.
- Muus B.J.** A field method for measuring "exposure" by means of plaster balls. *Sarsia*, v. 34, p. 61-68, 1968.
- Pedersen A., Kraemer G., Yarish C.** Seaweed of the littoral zone at Cove Island in Long Island Sound: Annual variation and impact of environmental factors. *Originally published in the Journal of Applied Phycology*, v. 20, N 5, p. 419-432, 2008.
- Блинова Е.И.** Вертикальное распределение и количественный учет макрофитов Айновских островов (Баренцево море). Распределение и состав промысловых водорослей Баренцева моря. *М.-Л., Наука*, с. 41-56, 1965.
- Брагинский Л.П., Линник П.Н.** К методике токсикологического эксперимента с тяжелыми металлами на гидробионтах. *Гидробиологич. журнал*, т. 39, № 1, с. 92-104, 2003.
- Будников Г.К.** Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. *Соросовский образоват. журнал*, № 5, с. 23-25, 1998.
- Виноградова К.Л.** Виды *Ceramium* (Ceramiales, Rhodophyta) в северных морях России. *Ботанич. журнал*, т. 90, № 6, с. 884-890, 2005.
- Виноградова К.Л.** Виды *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) в северных морях России. *Ботанич. журнал*, т. 92, № 4, с. 532-543, 2007.
- Виноградова К.Л.** Порядок Ceramiales (Rhodophyta) во флоре Северного Ледовитого океана. *Ботанич. журнал*, т. 96, № 6, с. 681-695, 2011.
- Виноградова К.Л.** Ульвовые водоросли (Chlorophyta) морей СССР. *Л., Наука*, 166 с., 1974.
- Гайсина Л.А., Хайбулина Л.С.** Влияние тяжелых металлов на морфологию почвенной водоросли *Xanthonema Silva*. *Почвоведение*, № 3, с. 343-347, 2007.
- Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В.** Литераль Кольского залива. *Тр. Ленингр. об-ва естествоисп.*, т. 60, № 2, с. 17-107, 1930.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2011 году. *Мурманск, ООО "Ростсервис"*, 152 с., 2012.

- Завалко С.Е.** Эпифитирование морских макрофитов как адаптация к евтрофированию и подвижности воды. *Биология моря*, № 6, с. 36-42, 1988.
- Завалко С.Е., Шошина Е.В.** Многоуровневая морфофизиологическая оценка состояния фукусовых водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Кольский залив Баренцева моря). *Вестник МГТУ*, т. 11, № 3, с. 423-431, 2008.
- Зинова А.Д.** Определитель бурых водорослей северных морей СССР. М.-Л., АН СССР, 225 с., 1953.
- Зинова А.Д.** Определитель красных водорослей северных морей СССР. М.-Л., АН СССР, 220 с., 1955.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В.** Фитоценозы Баренцева моря. Физиологические и структурные характеристики. *Апатиты, КНЦ РАН*, 307 с., 2003.
- Малавенда С.С., Малавенда С.В.** Черты деградации фитоценозов южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря. *Вестник МГТУ*, т. 15, № 4, с. 794-802, 2012.
- Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В., Адров Н.Н., Слободин В., Левитус С., Смоляр И.** Климатический атлас Баренцева моря 1998: температура, соленость, кислород. [Электронный ресурс] Мурманск, Silver Spring, 1998.
- Новые технологии мониторинга природных процессов в зоне взаимодействия пресных и морских вод (биологическая индикация). *Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты, КНЦ РАН*, 262 с., 2009.
- Перестенко Л.П.** Род *Acrosiphonia* J.Ag. на Мурманском побережье (Баренцево море). *Новости сист. низших раст.*, т. 2, с. 50-64, 1965.
- Шошина Е.В.** Определитель водорослей Баренцева моря. 2005. URL: <http://www.mstu.edu.ru/algae>.