

УДК 574.62

## Хорда *Chorda filum* (L.) Lamour. (Phaeophyta) как перспективный для марикультуры вид в Баренцевом и Белом морях

Г.А. Шкляревич<sup>1</sup>, Е.В. Шошина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Эколого-биологический факультет Петрозаводского государственного университета, кафедра зоологии и экологии

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

**Аннотация.** Исследован рост бурой водоросли *Chorda filum* в Баренцевом и Белом морях. Обсуждается возможность введения в марикультуру хорды с учетом преимущественных элементов биологии вида: высокой интенсивности роста, краткости жизненного цикла и простого воспроизводства. Рекомендуются введение хорды в культуру вместе с мидией и ламинарией.

**Abstract.** The growth of brown alga *Chorda filum* in the Barents and White Seas has been investigated. The opportunity of using this species in mariculture due to high growth intensity, short life cycle and simple reproduction as primary elements of species biology has been discussed. It is possible to use *Chorda* in culture together with *Mytilus edulis* and *Laminaria saccharina*.

**Ключевые слова:** *Chorda*, ламинариевые водоросли, рост, Баренцево море, Белое море, марикультура

**Key words:** *Chorda*, laminarian algae, growth, the Barents Sea, the White Sea, mariculture

### 1. Введение

Пищевая ценность водорослей определяется содержанием в них различных микроэлементов (в первую очередь йода), витаминов, полисахаридов, свободных аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, необходимых для нормального функционирования организма человека. В настоящее время существует необходимость в расширении производства продукции пищевого и лечебно-профилактического назначения, содержащей вещества, которые могут быть получены только из водорослей. Промысел и использование морской капусты (*Laminaria*) на побережье Белого моря начались много веков назад, сегодня это традиционный объект промысла и культивирования.

Задача наших исследований – изучить биоресурсный потенциал ламинариевых водорослей в прибрежной зоне для организации марикультуры нетрадиционного объекта – *Chorda filum* (пор. Laminariales, Phaeophyta).

### 2. Методы

На Мурманском побережье Баренцева моря работы были выполнены в губе Дальнезеленецкой (рис. 1). Скорость и интенсивность роста водорослей высчитывалась по изменениям длины и сырой массы целого растения; сборы водорослей проводились ежемесячно,  $n > 30$ . Скорость роста длины слоевища определялась:  $GRL = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)$ . Интенсивность роста (= относительная скорость роста, %·день<sup>-1</sup>) длины ( $RGR_L$ ) и массы ( $RGR_M$ ) слоевища высчитывалась:  $RGR_L = \ln(L_2/L_1) / (t_2 - t_1)$ ;  $RGR_M = \ln(M_2/M_1) / (t_2 - t_1)$ , где  $L$  – длина и  $M$  – масса слоевища,  $t$  – время проведения измерений (Кузнецов, Шошина, 2003).

В Белом море исследования ламинариевых водорослей *Chorda filum* и *Laminaria saccharina* проводились на мелководье (у нуля глубин) на о. Ряшкова в 2009 г. и в гб. Порьей в 2006 г. (рис. 1). Вокруг о. Ряшкова на 7 участках в июне-июле (26-28 июня, 11-22 июля и 25-29 июля) проводилось измерение длины хорды, по 100 растений на каждом участке. Состав штормовых выбросов водорослей исследовался на супралиторали о. Ряшкова в июне-сентябре в 1995 г. и на о. Горелом в 1996 г. в эти же сроки. Выброшенные волнами водоросли собирались с площади 0,1 м<sup>2</sup>, из их общей массы выбирались растения *Chorda filum*, высушивались в закрытом хорошо проветриваемом помещении до постоянного веса, т.е. определяли воздушно-сухую массу хорды. Всего было проанализировано более 30 проб из штормовых выбросов водорослей.



Рис. 1. Карта-схема районов проведения работ по ламинариевым водорослям.  
1 – губа Дальнезеленецкая (Мурманское побережье Баренцева моря);  
2 – остров Ряшков и 3 – Порья губа (Кандалакшский залив Белого моря)

### 3. Результаты исследования и обсуждение

#### Рост хорды

Хорда имеет крупное шнуровидное слоевище, 40-200 см длиной и 1-4 мм толщиной. Прикрепляются растения подошвой. В Баренцевом и Белом морях отмечается два вида хорды – *Chorda filum* (Linnaeus) Lamouroux и *Chorda tomentosa* Lyngbye (= *Halosiphon tomentosus* (Lyngbye) Jaasund), которые являются единственными представителями в семействе Chordaceae, занимающем обособленное место в порядке Laminariales. Внешне виды похожи, но различаются морфологическими, анатомическими и биохимическими особенностями.

Слоевище *Chorda tomentosa* густо покрыто темными ассимиляционными нитями, растения обычно лежат на субстрате. Рост диффузный, меристематическая зона отсутствует. У зооспор имеется стигма. Гаметофиты однодомные, что редко встречается у ламинариевых. Современные молекулярно-генетические исследования показали, что виды хорды не являются близкородственными и подтвердили правомочность выделения *Chorda tomentosa* в самостоятельный род *Halosiphon tomentosus* (Lyngbye) Jaasund (Peters, 1998). *Chorda tomentosa* – атлантический высокобореально-арктический вид (Lüning, 1990). Встречается нечасто на Мурманском побережье; в гб. Дальнезеленецкой вид отмечен в стерильном состоянии – в мае и со спорангиями – в июне.

Слоевище *Chorda filum* покрыто гиалиновыми волосками, содержащими газ, поэтому растение занимает вертикальное положение в толще воды. Характерен интеркалярный рост в дистальной части слоевища, с отчетливой меристематической зоной (Kogame, Kawai, 1996). Микроскопические гаметофиты, как у ламинарий, двудомные – мужские и женские. Как и у ламинарий, стигма отсутствует у зооспор (Henry, Cole, 1982). *Chorda filum* – бореально-арктический вид с широким распространением, встречается в Атлантическом, Северном Ледовитом и Тихом океанах (Lüning, 1990). Это обычный вид в Баренцевом и Белом морях, растет в защищенных местах и на открытом побережье, на каменистых и ракушечных грунтах, в сублиторали, отчасти на литорали, является летним однолетником.

На Мурманском побережье Баренцева моря макроскопические спорофиты хорды можно встретить практически в течение всего года, но максимальное развитие вида наблюдается в конце лета. Ювенильные растения становятся видимыми в марте, длина и масса слоевища быстро возрастают весной, достигая максимума в июле-сентябре, и до октября можно встретить хорошо развитые растения. Максимальная интенсивность роста длины и массы слоевища отмечена в мае-июне при температуре 2-5 °С в полярный день. Зрелые спорангии с многочисленными выходящими спорами встречаются в конце августа – сентябре. До октября можно обнаружить фертильные растения, несущие разрушающиеся и немногочисленные зрелые спорангии.

Для других частей ареала приводятся сходные фенологические наблюдения – Норвегии (Jaasund, 1969), атлантического побережья Северной Америки и Канады (Toth, 1974; South, Hooper, 1980; Novaczek et al., 1986). В Тихом океане на юге ареала (залив Петра Великого, Японское море) вид вегетирует с весны до осени, парафизы появляются в апреле, спорангии – в мае-июне при температуре 12-15 °С (Перестенко, 1980). Микроскопические гаметофиты *Chorda filum* нейтральны к длине дня, формирование гамет наблюдается при невысокой температуре 5-15 °С; высокие летние температуры могут препятствовать образованию спорозитов (Novaczek et al., 1986).

В Белом море, в куту Кандалакшского залива (о. Ряшков), *Chorda filum* обитает от нижнего горизонта литорали до глубины 10 м с частотой встречаемости  $16 \pm 4,5$  %, и далее, до нижней границы фитали (для Белого моря – это примерно 20-22 м), встречаемость вида колеблется от 6 до 9 %. Общая встречаемость *Chorda filum* на мелководьях Кандалакшского залива составляет  $9 \pm 1,7$  % (Нинбург, Шошина, 1986). В гб. Порьей хорда произрастает на глубинах от 2 до 12 м. В местах ее произрастания температура воды летом колеблется от 6,2 до 16,5 °С, в среднем составляя  $14,0 \pm 0,5$  °С; соленость морской воды колеблется от 19,6 до 26,7 ‰, в среднем –  $22,8 \pm 0,3$  ‰ (Шкляревич, 1999).

*Chorda filum* в условиях Кандалакшского залива Белого моря имеет некоторую фенологическую специфику. Макроскопические спорофиты встречаются в течение летне-осеннего сезона, когда море свободно от ледяного покрова, максимальное развитие растений наблюдается в конце лета. Первые проростки появляются в начале июня. Основная масса молодых водорослей становится видимой после 10 июня. Средняя длина талломов быстро возрастает в течение июля (рис. 2). В день наблюдений 26 июля самое маленькое растение достигло длины 1,2 см, а самое большое – 206 см. Максимальных размеров беломорская хорда достигает в первой половине августа, и до октября можно встретить хорошо развитые спорофиты.

Во время осенних штормов сильные волновые потоки отрывают большую часть талломов хорды от субстрата и выносят в супралитораль, включая эти водоросли в состав вала штормовых выбросов. Оторванные от субстрата водоросли этого вида начинают встречаться уже в конце июля (воздушно-сухая масса – до 10 г/м<sup>2</sup>). В сентябре количество хорды, содержащейся в штормовых выбросах на литорали о. Ряшкова, значительно увеличивалось и составляло от 4 до 900 г/м<sup>2</sup>, в среднем –  $215 \pm 172$  г/м<sup>2</sup>, встречаемость – 100 %.

Таблица. Средняя интенсивность роста длины ( $RGR_L$ ) слоевища *Chorda filum* в условиях Баренцева и Белого морей и время максимального роста

Виды	Баренцево море		Белое море	
	$RGR_L$ , % в день	Месяцы	$RGR_L$ , % в день	Месяцы
<i>Laminaria saccharina</i>	3,9	Март-апрель	0,4	Июнь-июль
<i>Chorda filum</i>	3,4	Май	7,4	Июнь-август

При сравнении темпов роста ламинариевых водорослей (хорды и ламинарии), обитающих в Баренцевом и Белом морях, оказалось, что беломорская *Chorda filum* растет значительно интенсивнее баренцевоморской, а *Laminaria saccharina* – наоборот, менее интенсивно (табл.).

Данные различия объясняются отчасти ледовым режимом в Белом море. В холодные годы образование ледового покрова начинается в первой декаде октября, а в теплые – задерживается до декабря и даже января. Исчезает ледовый покров обычно в мае (Карпович, 1984). Поэтому у беломорской хорды, в качестве адаптации к более коротким оптимальным срокам для роста и развития, выработалась значительно более высокая интенсивность роста, и рост идет в более сжатые сроки по сравнению с баренцевоморской хордой. У беломорской ламинарии – наоборот, интенсивность роста ниже, чем у баренцевоморской. Возможно, это связано с тем, что условия замерзающего Белого моря с его пониженной соленостью менее благоприятны для данного вида в сравнении с условиями моря Баренцева. Вторая причина может состоять в краткосрочности периода наблюдений за интенсивностью роста беломорской ламинарии, т.к. ставилась задача показать и подчеркнуть высокую интенсивность роста *Chorda filum* в Белом море как объекта для культивирования.

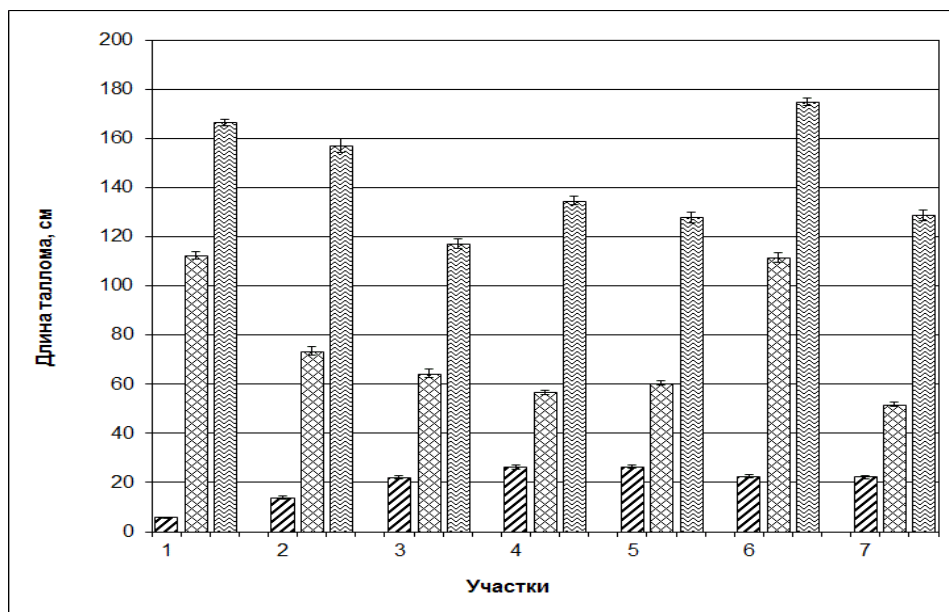


Рис. 2. Увеличение средней длины талломов *Chorda filum* на семи участках вокруг о. Ряшкова в июне-июле 2009 г. Измерения проводились на каждом участке один раз в 10 дней

#### Хорда как объект культивирования

*Chorda filum* может быть объектом культивирования. Как все водоросли, хорда способна концентрировать в процессе жизнедеятельности из морской среды редкие и рассеянные элементы, ввиду чего содержит вещества, редко встречающиеся или вовсе не встречающиеся в пищевых продуктах наземного происхождения. Как все ламинариевые, хорда содержит микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности организма, а также альгинат, в связи с чем является уникальным энтеросорбентом, способствующим выведению из живых организмов тяжелых металлов и радионуклидов.

Выращивание *Chorda filum* в качестве объекта культивирования дает перспективы ее использования в нескольких направлениях. Водоросль может стать сырьем для производства продукции пищевого и лечебно-профилактического назначения, расширения и разнообразия уже имеющегося ассортимента. Подобно ламинарии, хорду можно использовать в пищу как самостоятельный полноценный продукт (способ приготовления весьма прост, достаточно отварить ее в воде в течение 5 минут) либо как ингредиент в овощном салате. Кроме того, рекомендуется использование *Chorda filum* для извлечения альгината и других биологически активных веществ.

Рассмотрим преимущественные элементы биологии вида, характеризующие целесообразность введения хорды в марикультуру.

*Chorda filum* быстро растет, слоевище густо покрыто бесцветными волосками, т.е. слоевище этой шнуровидной водоросли имеет большую площадь поверхности. Гиалиновые волоски – с газом внутри, поэтому слоевище будет находиться не только в толще воды, но и плавать на поверхности. Хорда известна как "обрастатель" и часто встречается на искусственно созданных поверхностях, например канатах. Плантация для выращивания этого вида может быть любого типа. Оптимально, с точки зрения морфологии вида и условий обитания в природе, использовать горизонтальные канаты у поверхности воды (рис. 3).

Вид однолетний, быстро растущий, поэтому рекомендуется создавать сезонную плантацию этой водоросли в конце весны, оптимально – летом, однако можно и осенью. В Белом море посев на искусственные субстраты следует проводить сразу после освобождения моря от ледового покрова – в мае-июне; урожай собирают летом, а в сентябре-октябре плантацию необходимо снимать. В такой быстрой "скороспелости урожая" *Chorda filum* заключается бесспорное ее преимущество как объекта культивирования в прибрежных водах Баренцева и Белого морей (по сравнению с *Laminaria saccharina*).

При создании плантации хорды рекомендуется использовать разработанную для северного региона биотехнологию выращивания ламинарии (Макаров, 1982; Блинова, Макаров, 1987). Однако, на наш взгляд, начинать следует не от спор, а от вегетативных фрагментов гаметофитов. Посев спор производить также возможно, но это менее удобно, поскольку споры на слоевище хорды образуются в природных условиях в конце лета. Лабораторную культуру гаметофитов хорды следует содержать при красном свете; посевной вегетативный материал получают в любое время года, вне сроков естественного спороношения *Chorda filum*.

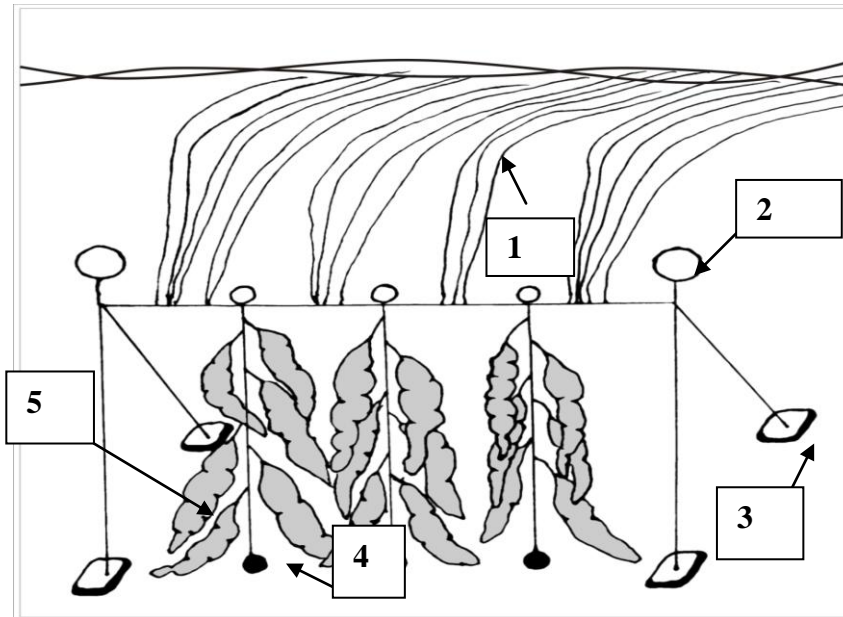


Рис. 3. Схема фрагмента плантации ламинариевых водорослей *Chorda filum* и *Laminaria saccharina*  
 Условные обозначения. У поверхности: 1 – таломы *Chorda filum*; 2 – поплавки, поддерживающие горизонтальный канат с культурой хорды. На дне: 3 – тяжелые грузы, "якоря", удерживающие установку; 4 – грузики, поддерживающие канаты с ламинарией в вертикальном положении; 5 – таломы *Laminaria saccharina*

При создании культуры гаметофитов ламинариевых выделяют зооспоры от зрелых спорофитов, культивируют в чашках Петри и получают гаметофиты. Выделяют в лабораторную культуру отдельно мужские и женские гаметофиты. Для культивирования гаметофитов ламинариевых используют среду PES (Provasoli enriched seawater) (Provasoli, 1968; Lüning, Neushul, 1978), среду меняют каждые два месяца, поддерживая температуру 10-12 °С. В процессе содержания культуры при красном флуоресцентном свете и интенсивности  $2,0 \text{ nE} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  гаметофиты ламинариевых образуют макроскопические шары, состоящие из вегетативных нитей (Lüning, Dring, 1975).

Для получения макроскопических спорофитов берут культуры мужских и женских гаметофитов, в ступке измельчают вегетативные нити, получают фрагменты, состоящие из 1-10 клеток, суспензию мужских и женских гаметофитов смешивают и заливают свежей обогащенной морской водой (PES). Среду меняют каждые две недели. Культуры ставят при белом флуоресцентном свете. Фрагменты гаметофитов прикрепляются в течение нескольких минут. Гаметофиты становятся фертильными спустя 7-10 дней, т.е. ювенильные спорофиты появляются через две недели при оптимальных условиях содержания. При исследовании жизненного цикла *Chorda tomentosa* в культуре зрелые спорофиты и выход спор наблюдали спустя 60-90 дней после выхода и оплодотворения яйцеклеток, для выращивания использовалась культура гаметофитов (Maier, 1984).

Культивирование хорды как интенсивно растущей водоросли с большой ассимиляционной поверхностью (благодаря многочисленным волоскам), возможно, потребует внесения "удобрений", поскольку при высокой плотности на плантации растения будут быстро изымать биогенные элементы из непосредственно окружающей их среды. Поэтому рекомендуется располагать плантацию хорды рядом с коллекторами мидий. Повышенный уровень жизнедеятельности искусственно выращиваемых *Mytilus edulis* неизбежно приводит к увеличению в морской воде концентраций растворенных органических и неорганических веществ, которые могут служить для культивируемых ламинариевых водорослей источником питания и стимуляторами их роста.

Поскольку при культивировании этого вида на горизонтально расположенных субстратах слоевица хорды будут находиться в толще воды у самой поверхности и на поверхности (благодаря особым, наполненным газом многочисленным волоскам), то можно рекомендовать такие плантации не только для получения биомассы и извлечения биологически активных веществ, но и для очистки поверхностного слоя воды, в том числе от нефтяной пленки.

Можно рекомендовать выращивать *Chorda filum* в бикультуре с ламинарией (рис. 3). Известно, что природные дозы ультрафиолетового излучения в поверхностном слое воды в условиях высоких широт в весенне-летнее время негативно влияют на рост и развитие *Laminaria saccharina* и могут даже

вызывать ее гибель на ранних стадиях развития (Воскобойников и др., 1999). В биокультуре ламинариевых водорослей хорду можно выращивать у поверхности, тогда ламинария, расположенная на субстратах чуть глубже, будет находиться под "пологом" хорды.

#### 4. Заключение

Таким образом, исследования показали, что *Chorda filum* характеризуется интенсивным ростом слоевища в летний период в Баренцевом и Белом морях. Вид имеет достаточно короткий жизненный цикл. Для ламинариевых водорослей, к которым относится данный вид, разработаны биотехнология и приемы культивирования.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать *Chorda filum* для создания поликультурных марихозийств (вместе с мидией и ламинарией). Очевидным преимуществом использования хорды в условиях высоких широт является ее способность извлекать избыток биогенов при выращивании моллюсков и затенять ламинарию у поверхности воды, предохраняя от избыточного ультрафиолетового излучения в летний период.

#### Литература

- Henry E.C., Cole K.M. Ultrastructure of swarmers in the Laminariales (Phaeophyceae). I. Zoospores. *J. Phycol.*, v.18, p.550-569, 1982.
- Jaasund E. Aspects of the marine algal vegetation of North Norway. *Bot. Gothoburgensis*, N 4, 174 p., 1969.
- Kogame Y., Kawai H. Development of the intercalary meristem in *Chorda filum* (Laminariales, Phaeophyceae) and other primitive Laminariales. *Phycol. Res.*, v.44, p.247-260, 1996.
- Lüning K. Seaweeds, their environment, biogeography, and ecophysiology. *New York, John Wiley*, 527 p., 1990.
- Lüning K., Dring M. Reproduction, growth and photosynthesis of gametophytes of *Laminaria saccharina* grown in blue and red light. *Marine Biology*, v.29, N 3, p.195-200, 1975.
- Lüning K., Neushul M. Light and temperature demands for growth and reproduction of laminarian gametophytes in Southern and Central California. *Marine Biology*, v.45, p.297-309, 1978.
- Maier I. Culture studies of *Chorda filum*. *Br. Phycol. J.*, v.19, p.95-106, 1984.
- Novaczek I., Bird C.J., Mclachlan J. Effect of temperature on development and reproduction in *Chorda filum* and *Chorda tomentosum* (Phaeophyta, Laminariales) from Nova Scotia. *Can. J. Bot.*, v.64, p.2614-2420, 1986.
- Peters A. Ribosomal DNA sequences support taxonomic separation of the two species of *Chorda*: Reinstatement of *Halosiphon tomentosus* (Lyngbye) Jaasund (Phaeophyceae, Laminariales). *European Journal of Phycology*, v.33, N 1, p.65-71, 1998.
- Provasoli L. Media and prospects for the cultivation of marine algae. Culture and collections of algae. *Proc. of U.S., Japan Conference. Eds. A. Watanabe, A. Hattori. Japanese Society of Plant Physiology. Hakone*, p.63-75, 1968.
- South G.R., Hooper R.G. A catalogue and atlas of the benthic marine algae of the Island of Newfoundland. *Mem. Univ. Newfoundland. Occasional Papers in Biology*, N 3, 136 p., 1980.
- Toth R. Sporangial structure and zoosporogenesis in *Chorda tomentosa* (Laminariales). *J. Phycol.*, v.10, N 2, p.170-185, 1974.
- Блинова Е.И., Макаров В.Н. Инструкция по биотехнике культивирования ламинарии сахаристой в двухгодичном цикле в Баренцевом море. *М., ВНИРО*, 34 с., 1987.
- Воскобойников Г.М., Макаров В.Н., Макаров М.В., Шошина Е.В. Технология культивирования и перспективы рационального использования ламинариевых водорослей. *Современные технологии и прогноз в полярной океанологии и биологии. Апатиты, КНЦ РАН*, с.100-123, 1999.
- Карпович В.Н. Кандалакшский заповедник. *Мурманск, Мурманское кн. изд-во*, 160 с., 1984.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). *Апатиты, КНЦ РАН*, 308 с., 2003.
- Макаров В.Н. Инструкция по биотехнике культивирования ламинарии сахаристой в двухгодичном цикле в условиях Белого моря. *Мурманск, ПИИРО*, 60 с., 1982.
- Нинбург Е.А., Шошина Е.В. Флора водорослей и их распределение в кутовой части Кандалакшского залива. *Природа и хозяйство Севера*, № 14, с.60-66, 1986.
- Перестенко Л.П. Водоросли залива Петра Великого. *Л., Наука*, 231 с., 1980.
- Шкляревич Г.А. Водоросли и беспозвоночные животные мелководий Порьей губы. *Апатиты, КНЦ РАН*, 71 с., 1999.