

УДК 574.5: 470.21

*О.В. Канищева (Гончарова), Е.В. Шошина***ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОСЕЛЕНИЙ *FUCUS VESICULOSUS*
НА ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА**

На Мурманском побережье Баренцева моря широкое распространение получили бурые водоросли, на литорали – фукусовые. Объектом исследования является наиболее часто встречающийся вид – *Fucus vesiculosus* (фукус пузырчатый). Цель работы – изучение состояния фукусовых сообществ в Кольском заливе. Материалом послужили сборы фукусовых водорослей на литорали Кольского залива Баренцева моря. Пробы отобраны в феврале–мае 1999 г. и в марте–мае 2009 г. в наиболее характерных местах обитания во время сизигийных отливов методом вертикальных трансект с использованием рамки площадью 0,25 м². В данной работе проведено сравнение возрастной структуры поселений *Fucus vesiculosus* на литорали Кольского залива. Исследования показали, что в настоящее время заросли фукусовых водорослей встречаются вдоль всей литоральной зоны, где есть твердый субстрат и отсутствуют береговые портовые сооружения. Отмеченная гетерогенность возрастной структуры изученных поселений в условиях значительного антропогенного воздействия обеспечивает толерантность и патиентность данного вида к факторам среды и создает основу для устойчивого существования сообществ фукусовых водорослей на литорали северных морей.

Ключевые слова: *Fucus vesiculosus*, возрастная структура поселений, фукусовые сообщества, литораль, морские экосистемы, антропогенное воздействие, устойчивое существование, Кольский залив, Баренцево море.

Кольский залив – крупный фьорд на Мурманском побережье протяженностью около 60 км, характеризующийся необычайным разнообразием гидрологических условий [1; 2]. Это и наиболее интенсивно эксплуатируемый участок Мурманского побережья, имеющий важное стратегическое и экономическое значение. В современных условиях Кольский залив привлекает повышенное внимание как возможный источник загрязнения Баренцева моря и является оптимальным полигоном для проведения исследований, касающихся изучения взаимодействия организмов с окружающей средой.

Для оценки экологического состояния водоема наряду с гидрохимическими широко используются и гидробиологические показатели. В связи с этим исследования характеристик сообществ макрофитобентоса позволяют создать основу для прогнозирования состояния прибрежной экосистемы Кольского залива. Макроводоросли в ответ на внешнее воздействие, включая загрязнение, реагируют морфофизиологическими и популяционными изменениями. Представитель бурых водорослей *Fucus vesiculosus* благодаря хорошо выраженной сезонной, возрастной, географической и экологической изменчивости привлекателен как модельный объект для изучения ответных реакций организмов и популяций на воздействие факторов среды. Кроме того, как обитатели литорали, сообщества фукусовых водорослей являются естественными биофильтрами на границе раздела разных сред – наземной и морской, водной среды и донных осадков. Фукусовые водоросли обитают на границе смешения пресных и морских вод. Это одно из важных оснований, почему предлагается использовать фукусовые водоросли в качестве биофильтров, создавая плантации той или иной конструкции, например, для очистки акваторий от нефтяной пленки [3].

Объектом исследования является *Fucus vesiculosus* – массовый, широко распространенный вид, доминирующий в сообществах литорали северных морей, имеющий промысловое значение. Несмотря на большое число работ, посвященных биологическим и экологическим особенностям фукусовых водорослей на Мурманском побережье [4-13 и др.], многие аспекты их жизнедеятельности в арктическом регионе остаются малоизученными.

Целью работы является исследование состояния фукусовых сообществ в Кольском заливе на примере *Fucus vesiculosus*. Задачами настоящей работы являются изучение возрастной структуры поселений и показателей обилия разных возрастных групп *Fucus vesiculosus* в исследуемых районах Кольского залива в условиях антропогенного загрязнения и выявление изменений в возрастной структуре поселений, произошедших за 10 лет (1999 г. и 2009 г.).

Материалы и методы исследований

Данная работа является частью исследований, проводимых на кафедре биологии Мурманского государственного технического университета по многолетнему мониторингу литоральных сообществ

Кольского залива [14; 15]. Настоящая статья является продолжением публикации материалов и анализа исследований фукусовых водорослей, образующих доминирующие сообщества на литорали Кольского залива [16-18].

Материалом для данной работы послужили сборы фукусовых водорослей на литорали Кольского залива Баренцева моря. Для анализа состояния фитоценозов фукусовых водорослей выбрано 3 участка: мыс Притыка, мыс Абрам-Мыс и бухта Белокаменка (рис. 1). Пробы отобраны в феврале–мае 1999 г. и в марте–мае 2009 г. Данные, приводимые в этой работе за 1999–2000 гг., собраны Е.В. Шошиной, данные 2009 г. – О.В. Канищевой (Гончаровой).

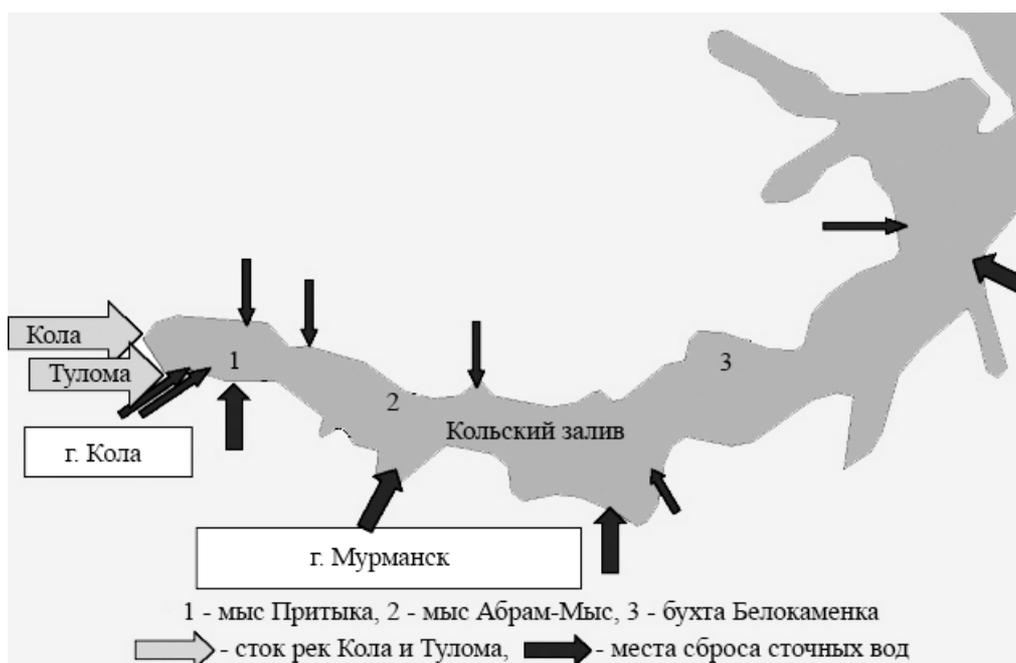


Рис. 1. Схема исследуемых участков Кольского залива Баренцева моря [16]

Пробы водорослей отбирались в наиболее характерных местах обитания во время сизигийных отливов методом вертикальных трансект с использованием рамки площадью 0,25 м² [19]. В статье приведены данные по доминирующему среди фукусовых водорослей виду *Fucus vesiculosus*. Общее количество отобранных проб и выполненных измерений растений представлено в табл. 1.

Таблица 1

Объем материала в исследуемых районах Кольского залива

Год	Район исследования	Количество проб	Общее количество растений <i>Fucus vesiculosus</i>	Число измеренных растений
1999	м. Притыка	3	4553	74
	м. Абрам-Мыс	5	830	69
	б. Белокаменка	4	237	48
2009	м. Притыка	6	1384	432
	м. Абрам-Мыс	3	933	204
	б. Белокаменка	3	260	140

Все растения *F. vesiculosus* в пробе разбирали на возрастные группы. Возраст особей определяли по числу дихотомических ветвлений, считая, что за год у этого вида формируется два дихотомических разветвления на центральной оси слоевища [6; 20]. Определяли численность и суммарную массу растений каждой возрастной группы. Затем в каждой возрастной группе измеряли по 6–10 растений *Fucus vesiculosus*. Таким образом, при разборке материала на уровне популяции оценивали следующие параметры: средний возраст, долю ювенильных особей, численность (*N*) и биомассу (*B*) расте-

ний. Сырую массу определяли методом прямого взвешивания. Средний возраст поселений рассчитывали как средневзвешенное всех возрастных групп. Статистическая обработка материала проводилась с использованием программного пакета Microsoft Office Excel (2003 г. и 2007 г.). Каждый измеряемый параметр анализировался методами описательной статистики.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований прослежена изменчивость возрастной структуры на примере поселений фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus*). На Мурманском побережье этот вид образует сообщества в верхнем и среднем горизонтах литорали, при движении в арктические районы Баренцева моря опускается в сублитораль. Вид имеет наиболее широкое распространение (из фукусовых) на литорали Кольского залива, это наиболее пластичный представитель из фукоидов по отношению к условиям среды, способный к выживанию в различных местообитаниях, при широком диапазоне факторов среды – солености, прибойности, длительности осушения и т. д.

Как обитатель литорали *Fucus vesiculosus* подвергается смене среды обитания (воздушной или морской) дважды в сутки, при существенных изменениях всех факторов на протяжении суток, поскольку отливы в Кольском заливе правильные полусуточные, высотой до 2,5 м. Литоральные сообщества фукусовых водорослей подвергаются и значительным сезонным изменениям условий обитания, особенно во время нахождения в воздушной среде. Зимой фукусы могут покрываться ледяной коркой. А в полярный день при круглосуточном сиянии солнца и легком ветре водоросли могут высыхать до абсолютно сухого состояния.

Широкая толерантность к целому комплексу факторов и высокая степень пациентности обусловлены целым рядом морфофункциональных особенностей данного вида *Fucus vesiculosus* на разных уровнях организации. Как показывают результаты исследований, одним из важных факторов, обеспечивающих широкую толерантность и устойчивость, является высокая степень возрастной гетерогенности популяции *F. vesiculosus* при длинном возрастном ряде.

Возрастной ряд. Исследования возрастной структуры *Fucus vesiculosus* в разных районах Кольского залива свидетельствуют (рис. 2-4), что длинный возрастной ряд характерен для всех изученных поселений этого вида, отмечены растения в возрасте до 8–13 лет. Имеются некоторые различия в общей продолжительности жизни между растениями в поселениях из разных мест произрастания и в разные годы. В целом наблюдения показывают, что растения фукуса пузырчатого в Кольском заливе могут достигать значительного возраста (и размеров), приближаясь к максимальным значениям по длительности жизни, известным для данного вида [7]. Следует подчеркнуть и другую особенность изученных поселений, а именно, при наибольшем антропогенном воздействии (м. Притыка) в поселениях *F. vesiculosus* присутствуют растения практически всех возрастных групп.

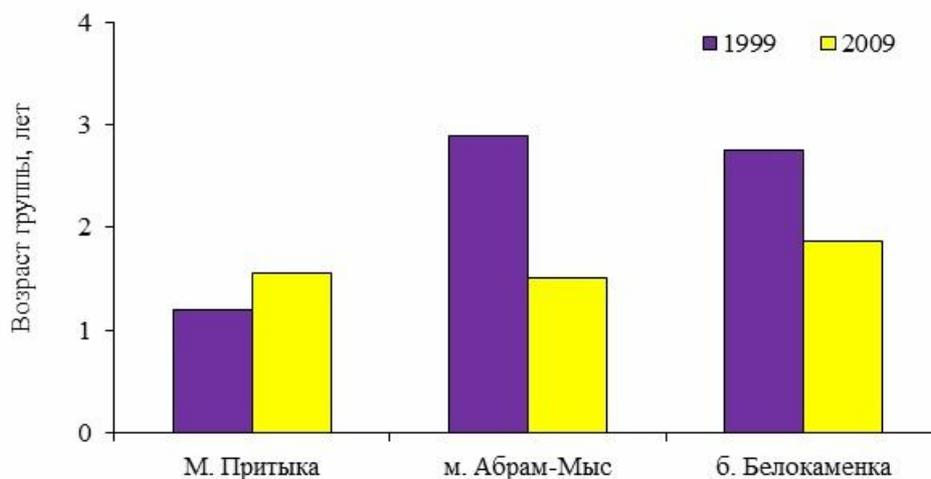


Рис. 2. Средний возраст растений *Fucus vesiculosus* в поселениях в различных биотопах в Кольском заливе

Средний возраст растений в разных поселениях вида различается (рис. 2), увеличиваясь при движении от кута залива к центральной части. Средний возраст *Fucus vesiculosus* в поселениях выше в бухте Белокаменка и на мысе Абрам-Мыс (около трех лет), чем в куту залива на мысе Притыка. Эти различия были более существенными в 1999 г. по сравнению с 2009 г. Спустя 10 лет на литорали мысов Притыка и Абрам-Мыс средний возраст растений в поселении составлял около полутора лет, то есть преобладали проростки фукуса, а на литорали бухты Белокаменка – около 2,5 лет. Таким образом, в поселениях *F. vesiculosus* при продвижении к внутренней, более закрытой и более загрязненной части залива популяция закономерно омолаживается: ее численность все в большей степени формируется за счет молодых растений на фоне сокращения доли слоевищ старших возрастов.

По возрастной структуре поселения фукуса пузырчатого в Кольском заливе (табл. 2, рис. 3, 4) можно отнести к нормальному типу [21]. Для поселений такого типа характерно большое число как молодых, так и зрелых, способных к размножению растений. Основное различие между исследованными поселениями заключается в относительном количестве молодых особей.

Известно, что на Мурманском побережье первые единичные фертильные растения *F. vesiculosus* отмечаются в возрасте 3-х лет, массовое развитие рецептакул начинается у растений с четырехлетнего возраста; 70 % растений фертильны среди 6-летних и практически все особи фертильны в возрасте 7–9 лет. Кроме того, формирование рецептакул начинается осенью, а созревают они на следующий год к началу лета [22]. Поэтому в настоящей работе растения фукуса возрастной группы 1–3 лет отнесены к ювенильным, а растения 4 лет и старше отнесены к группе фертильных.

Выявлены существенные изменения в численности молодых растений в поселениях фукуса в 1999 и 2009 гг. (табл. 2). Если в 1999 г. высокая численность молодых растений отмечается только в районе мыса Притыка, то в 2009 г. – также на мысе Абрам-Мыс и в бухте Белокаменка. Численность ювенильных растений на мысе Притыка (в куту залива) в 1999 и 2009 гг. составляла 87 % и 64 % соответственно. Доля ювенильных растений в поселениях вида на мысе Абрам-Мыс увеличилась с 22 % до 72 %, а в бухте Белокаменка – с 23 % до 53 % в 2009 г. (по сравнению с 1999 г.). Таким образом, в изученных поселениях *Fucus vesiculosus* в 2009 г. преобладали неполовозрелые особи (ювенильные) в возрасте 1–3 лет, тогда как зрелые (фертильные) составляли около 1/3 от общего числа особей. Увеличение доли молодых растений и их высокая численность свидетельствуют об улучшении условий возобновления литоральных бурых водорослей в Кольском заливе.

Таблица 2

Доля ювенильных особей от общей численности растений в поселениях *Fucus vesiculosus* на разных участках Кольского залива

Районы исследования	Доля ювенильных особей, %	
	1999 г.	2009 г.
Мыс Притыка	87	64
Мыс Абрам-Мыс	22	72
Бухта Белокаменка	23	53

В исследуемый период аномально высокие значения численности растений *F. vesiculosus* отмечены в 1999 г. в поселении вида на мысе Притыка (табл. 2), доля ювенильных особей составляла около 90 %, тогда как в поселениях *F. vesiculosus* в районе мыса Абрам-Мыс и бухте Белокаменка молодых растений относительно немного. Эти данные свидетельствуют, что в районе мыса Притыка условия предыдущего года оказались благоприятными для выживания проростков фукуса, а в районе мыса Абрам-Мыс и бухте Белокаменка – неблагоприятными, что говорит о возможности нестабильного заселения субстрата фукусовыми водорослями в Кольском заливе и, по-видимому, вызвано действием неблагоприятных факторов на ранние стадии развития растений. По литературным данным, в начале июня 1999 г. исследователи наблюдали нефтяную пленку толщиной около 1 см в районе мыса Абрам-Мыс [16]. Это период размножения *F. vesiculosus*, когда гаметы выходят в воду, зиготы оседают и заселяют субстрат. При наличии нефтяной пленки, покрывающей камни (субстрат для заселения), выживают лишь немногие проростки на литорали. Вместе с тем следует заметить, что выжившие растения могут жить достаточно долго, видимо благодаря большому количеству биогенов на акватории Кольского залива.

Численность растений закономерно снижается с увеличением возраста во всех изученных поселениях *Fucus vesiculosus* в Кольском заливе (рис. 3). Преобладающими являются неполовозрелые ювенильные особи в возрасте 1–3 лет.

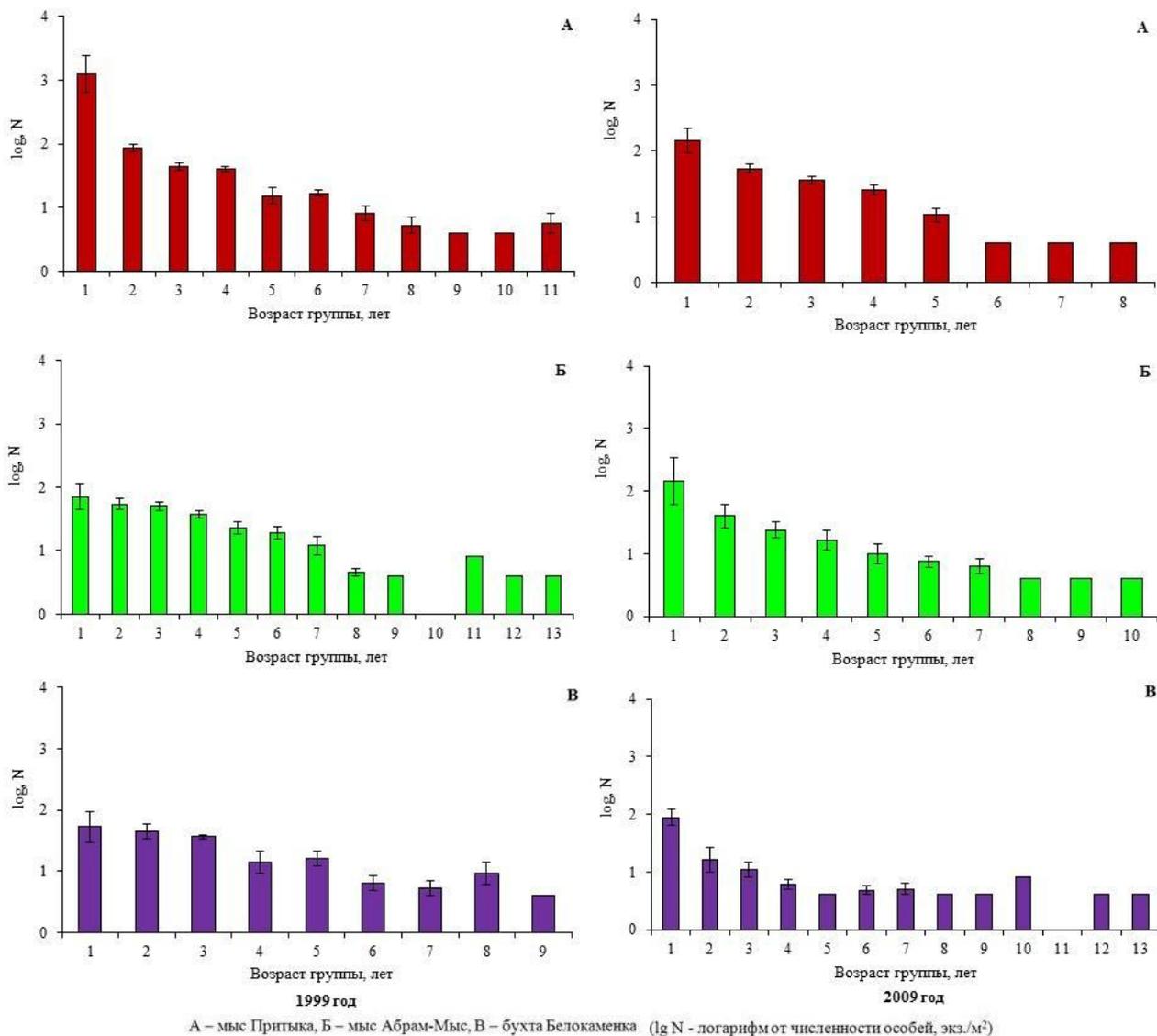


Рис. 3. Численность растений *Fucus vesiculosus* разных возрастных групп в исследуемых районах Кольского залива в 1999 и 2009 гг.

Биомасса разных возрастных групп (как и масса целого растения) является интегральным показателем состояния поселений макроводорослей, отражая адаптацию ко всему комплексу условий произрастания (рис. 4). По биомассе в большинстве исследованных поселений доминируют растения средней возрастной группы – в возрасте от 4 до 6 лет, то есть преобладает группа молодых растений среди фертильных особей. При этом единичные взрослые растения 7–8 лет и старше могут достигать крупных размеров и массы и вносить существенный вклад в биомассу поселений, что ярко проявилось на примере поселения в бухте Белокаменка в 1999 и 2009 гг. Эти данные также свидетельствуют о том, что по возрастной структуре поселения фукуса можно отнести к нормальному типу. Кроме того, представленные выше материалы по соотношению численности и биомассы разных возрастных групп демонстрируют возможность стабильного возобновления поселений фукуса в условиях Кольского залива под влиянием антропогенного воздействия.

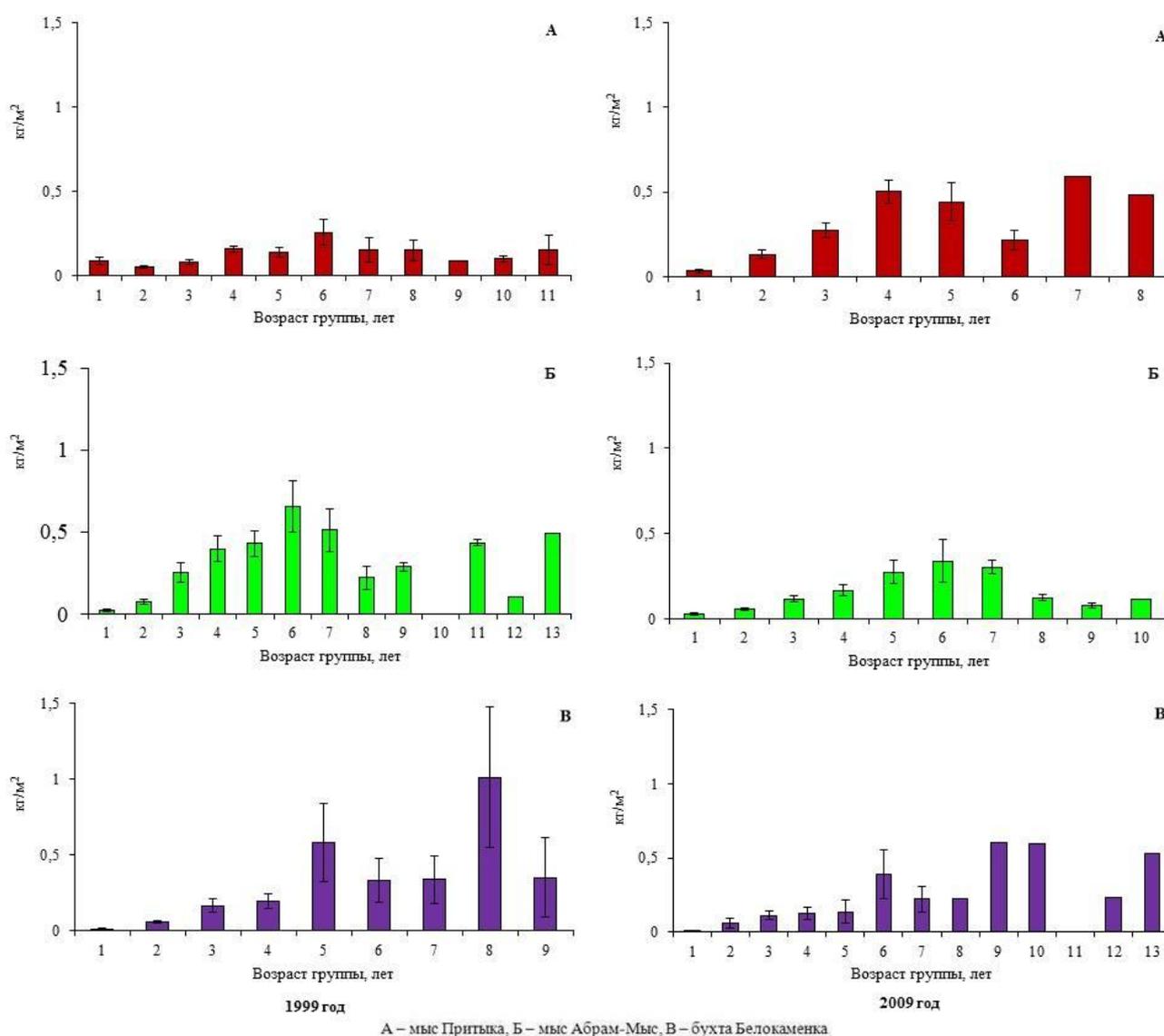


Рис. 4. Биомасса разных возрастных групп растений *Fucus vesiculosus* в исследуемых районах Кольского залива в 1999 и 2009 гг.

Результаты исследований показывают, что сообщества фукусовых водорослей с доминирующим видом *F. vesiculosus* в верхнем и среднем горизонтах литорали Кольского залива образованы многолетними растениями, продолжительность жизни которых составляет 8–13 лет. Многолетние растения создают основу для длительного существования в этом сообществе и других гидробионтов, поселяющихся под укрытием фукуса или на них. Поселения вида по возрастной структуре можно отнести к нормальному типу, при этом отмечаются существенные колебания численности молоди. Гетерогенность возрастной структуры поселений создает основу для устойчивого возобновления сообщества фукусовых водорослей на литорали Кольского залива.

Исследования показали, что возрастная структура поселений фукуса изменчива – имеются вариации между поселениями в градиенте факторов по Кольскому заливу и между годами. В целом для *F. vesiculosus* характерны длинный возрастной ряд, присутствие особей практически всех возрастных групп, нормальный тип возрастной структуры с преобладанием ювенильных (по численности) и относительно высоким обилием (по биомассе) молодых растений среди группы растений репродуктивного возраста. Сравнительные данные (1999 и 2009 гг.) указывают на относительную стабильность состояния популяции фукуса. В целом можно говорить об улучшении состояния поселений, исходя из данных по возрастной структуре в 2009 г. по сравнению с 1999 г.

Заключение

В результате исследований установлено, что в настоящее время заросли фукусовых водорослей встречаются вдоль всей литоральной зоны, где есть твердый субстрат и отсутствуют береговые портовые сооружения. Заросли разреженные, с проективным покрытием не более 40–50 %, плотных поселений не отмечено, что обусловлено прежде всего естественными причинами – характером распределения твердого субстрата, необходимого для таких крупных водорослей, как фукус.

Проведенное исследование возрастной структуры поселений фукусовых на примере доминирующего в сообществах вида *Fucus vesiculosus* показало, что на литорали Кольского залива в поселениях наблюдался длинный возрастной ряд (до 8–13 лет), присутствовали растения всех возрастных групп, отмечалось много молодых (по численности) и относительно много (по биомассе) зрелых особей, способных к размножению. В условиях значительного антропогенного воздействия регистрировался нормальный тип возрастной структуры доминирующего вида, характерного для стабильных поселений. В районе города Мурманска (мыс Абрам-Мыс) отдельные растения фукуса пузырчатого достигали значительного возраста (крупных размеров и массы). В куту залива (мыс Притыка) по сравнению с менее загрязненными районами наблюдалось снижение биомассы фукусовых водорослей и преобладание молодых растений [17].

В ходе работы отмечены колебания численности молодых особей фукуса пузырчатого. Результаты сравнительного исследования возрастной структуры поселений в 1999 и 2009 гг. свидетельствуют о достаточной стабильности зарослей фукусов на литорали Кольского залива, наиболее подверженного антропогенному воздействию на Мурманском побережье.

Высокая степень возрастной гетерогенности популяции *F. vesiculosus* обеспечивает широкую толерантность и пациентность данного вида на Мурманском побережье Баренцева моря. Данные свидетельствуют о том, что фукусовые водоросли обладают большими адаптивными возможностями на уровне возрастной структуры популяций к изменению факторов среды.

Исследования, выполненные Е.В. Шошиной в 1999–2000 гг., поддержаны грантами РФФИ №№ 99-04-48321, 01-04-49510.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997 265 с.
2. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / отв. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.
3. Воскобойников Г.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли в очистке прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 15, № 4. С. 716-721.
4. Тиховская З.П. Первичная продуктивность фукоидов в губах Восточного Мурмана // Тр. Мурманской биологической станции. 1948. Т. 1. С. 164-189.
5. Тиховская З.П. Циклы жизни *Fucus vesiculosus* на берегах Восточного Мурмана // Тр. Мурманской биологической станции. 1955. Т. 2. С. 93-107.
6. Кузнецов В.В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.; Л.: Изд. АН СССР, 1960. 320 с.
7. Шошина Е.В. Фукусовые водоросли // Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. С. 174-187.
8. Тропин И.В., Макаров М.В. Фотосинтетический аппарат представителей Fuciales (Phaeophyta) Баренцева моря после полярной ночи // Альгология. 2004. Т. 4, № 4. С. 393-404.
9. Макаров М.В., Облучинская Е.Д., Воскобойников Г.М., Рыжик И.В. Биологически активные вещества макрофитов Баренцева моря: содержание, механизмы накопления, технологии получения и перспективы использования // Сб. «Север-2003». Проблемы и решения. Апатиты, 2004. С. 218-229.
10. Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Рыжик И.В. Изменения в составе фотосинтетических пигментов и структуре клеток *Fucus vesiculosus* L. и *F. serratus* L. Баренцева моря при длительном нахождении в темноте // Биология моря. 2006. Т. 32, № 1. С. 26-33.
11. Облучинская Е.Д., Шошина Е.В. Использование фукусовых водорослей Баренцева моря // Рыбное хозяйство. № 2. 2008. С. 105-107.
12. Макаров М.В. Адаптация водорослей Баренцева моря к условиям освещения: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Мурманск, 2010. 51 с.
13. Малавенда С.С., Малавенда С.В. Черты деградации в фитоценозах южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 15, № 4. С. 794-802.

14. Малавенда С.С., Зуев Ю.А., Кравец П.П. Бентосные сообщества Кольского залива. Сто лет назад, вчера, сегодня... Завтра? // Рыбное хозяйство. 2008. №2. С. 66-68.
15. Афончева С.А., Малавенда С.С., Кравец П.П. Распределение бентосных сообществ на литорали Кольского залива // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 15, № 4. С. 701-705.
16. Завалко С.Е., Шошина Е.В. Многоуровневая морфофизиологическая оценка состояния фукусовых водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Кольский залив, Баренцево море) // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2008. Т.11, № 3. С. 423-431.
17. Гончарова О.В., Шошина Е.В. Морфофункциональные параметры *Fucus vesiculosus* в условиях Кольского залива // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 16, № . С. 437-448.
18. Шошина Е.В., Капков В.И. Экологические особенности промысловых фукусовых водорослей Мурманского побережья Баренцева моря // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2014. Т. 17, № 1. С. 180-189.
19. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / под ред. А.В. Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 185 с.
20. Максимова О.В. Некоторые сезонные особенности развития и определения возраста беломорских фукоидов // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М.: Наука, 1980. С. 73-78.
21. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
22. Шошина Е.В., Воскобойников Г.М., Макаров В.Н. Оценка состояния пояса макрофитов губы Териберская Баренцева моря (Материалы к ОВОС проектных решений разработки Штокмановского газоконденсатного месторождения): препринт. Апатиты: изд. КНЦ РАН, 1994. 28 с.

Поступила в редакцию 28.01.15

O.V. Kanishcheva (Goncharova), E.V. Schoschina

AGE STRUCTURE OF *FUCUS VESICULOSUS* SETTLEMENTS ON INTERTIDAL ZONE OF THE KOLA BAY

On the Murmansk coast of the Barents Sea brown algae are widely spread, among them fucus algae are commonly disseminated within intertidal zone. The object of research is the most common type – *Fucus vesiculosus* (bladder wrack). The purpose of investigation is to study the state of fucus communities in the Kola Bay. Samples of the fucus algae in the intertidal zone of the Kola Bay were collected in February–May 1999, and in March–May 2009 in the most specific habitats during syzygy tide by using vertical transect method with frame tool of 0.25 m². In this article, a comparison of the age structure of *Fucus vesiculosus* settlements in the intertidal communities of the Kola Bay is carried out. Researches show that nowadays fucus algae are found along the whole intertidal zone, where solid substrate is present and there are no any coastal port facilities. Observed heterogeneity of the age structure of studied settlements in the conditions of considerable anthropogenic influence provides tolerance and resistance of the given species to environmental factors and creates a basis for steady renewal of fucooid communities on intertidal zone of northern seas.

Keywords: *Fucus vesiculosus*, age structure of settlements, fucooid communities, intertidal zone, marine ecosystems, anthropogenic influence, sustainable existence, the Kola bay, Barents Sea.

Канищева (Гончарова) Ольга Валерьевна, аспирант
E-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru

Шошина Елена Васильевна,
доктор биологических наук, профессор,
заведующая кафедрой биологии
E-mail: shoshinaev@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Мурманский Государственный
Технический Университет»
Россия, 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13

Kanishcheva O.V., postgraduate student
E-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru

Schoschina E.V.,
Doctor of Biology, Professor,
Head of Department of biology
E-mail: shoshinaev@gmail.com

Murmansk State Technical University
183010, Sportivnaya st. 13, Murmansk, Russia