

УДК 574.34

Многолетняя изменчивость возрастной структуры ценопопуляции фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus* L.) на литорали Кольского залива в условиях антропогенного воздействия

О. В. Канищева (Гончарова)*, А. А. Канищев, Е. В. Шошина

*Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), г. Мурманск, Россия;
e-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8375>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
08.04.2020;

получена
после доработки
09.05.2020

Ключевые слова:

Fucus vesiculosus,
возрастная
структура
ценопопуляций,
фукусовые
сообщества,
литораль, биомасса,
Кольский залив

Для цитирования

В настоящее время с целью оценки качества вод широко используются гидрохимические и гидробиологические показатели, в частности различные биологические характеристики макроводорослей. Бурая водоросль *Fucus vesiculosus* обладает выраженной экологической пластичностью и толерантностью к комплексу природных и антропогенных факторов и может служить модельным объектом при изучении адаптивных реакций фитоценозов на воздействие неблагоприятных условий среды. В процессе исследования сборов водорослей, произведенных в периоды 1999, 2009 и 2019 гг. на акватории южного и среднего колен Кольского залива, проанализирована изменчивость возрастной структуры фукуса пузырчатого на литорали залива в условиях антропогенного пресса в разные годы, а также дана оценка экологического состояния водоема. Литературные данные показали, что в водах залива содержится широкий спектр загрязнителей и в течение длительного периода наблюдались повышенные концентрации нефтяных углеводородов и ряда металлов. Анализ возрастной структуры *F. vesiculosus* свидетельствует о длинном возрастном ряде в ценопопуляции этого вида, присутствии растений различных возрастных групп при доминировании молодых растений в возрасте от 1 до 3 лет. В течение рассматриваемого периода численность особей старших возрастных групп закономерно снижалась с увеличением возраста, а также наблюдался рост биомассы водорослей и последующее ее уменьшение. Представленные материалы позволяют сделать вывод о стабильности бурой водоросли *F. vesiculosus* в условиях интенсивной промышленной эксплуатации вод Кольского залива.

Канищева (Гончарова) О. В. и др. Многолетняя изменчивость возрастной структуры ценопопуляции фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus* L.) на литорали Кольского залива в условиях антропогенного воздействия. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 2. С. 139-149. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-139-149

The long-term variability of the age structure of cenopopulations of fucus bubble (*Fucus vesiculosus* L.) within the littoral of the Kola Bay under anthropogenic influence

Olga V. Kanishcheva (Goncharova)*, Alexey A. Kanishchev, Elena V. Shoshina

*Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography
("PINRO" named after N. M. Knipovich), Murmansk, Russia;
e-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8375>

Article info

Received
08.04.2020;

received
in revised
09.05.2020

Key words:

Fucus vesiculosus,
age structure of
cenopopulations,
Fucus communities,
littoral, biomass,
Kola Bay

For citation

Abstract

Recently, in order to assess the quality of water, hydrobiological indicators, in particular various biological characteristics of macroalgae, are widely used along with hydrochemical parameters. Brown alga *Fucus vesiculosus* due to its ecological plasticity and tolerance to a complex of natural and anthropogenic factors can serve as a model object when studying adaptive reactions of phytocenoses to adverse environmental conditions. The material for the work is the collections of algae during 1999, 2009 and 2019 years within the southern and middle tribes of the Kola Bay. The variability of the age structure of the *Fucus vesiculosus* on the littoral bay under anthropogenic press in different years has been considered in this work; moreover the environmental assessment of water quality has been also undertaken. Reference data have shown that the waters of the bay contained a wide range of pollutants, due to this an elevated concentrations of oil hydrocarbons and a number of metals have been observed for a long period. A study of the age structure of *F. vesiculosus* has shown that a long age series have been observed in the littoral cenopopulations of this species, plants of various age groups are presented, while the communities is based on young plants aged from 1 to 3 years. It has been found that the number of individuals of older age groups naturally decreases with increasing age. During the observing period, an increase in algae biomass and a subsequent decrease in its growth have been observed. The presented materials testify the stability of the brown alga *F. vesiculosus* under conditions of intensive industrial exploitation of the waters of the Kola Bay.

Kanishcheva (Goncharova), O. V. et al. 2020. The long-term variability of the age structure of cenopopulations of fucus bubble (*Fucus vesiculosus* L.) within the littoral of the Kola Bay under anthropogenic influence. *Vestnik of MSTU*, 23(2), pp. 139–149. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-139-149

Введение

В настоящее время актуализируется проблема исследования контактных прибрежно-морских зон (включая прибрежные районы Баренцева моря), подверженных мощному антропогенному воздействию (Степаньян и др., 2006; Завалко и др., 2008; Капков и др., 2018; Воскобойников и др., 2019). К их числу относится и литоральная зона Кольского залива – крупного фьорда протяженностью около 60 км, характеризующегося разнообразием гидрологических условий. Кольский залив относится к наиболее интенсивно эксплуатируемым участкам Мурманского побережья и имеет важное стратегическое и экономическое значение. В современных условиях Кольский залив привлекает повышенное внимание научного сообщества как источник загрязнения Баренцева моря и является оптимальным полигоном для проведения исследований, касающихся изучения взаимодействия организмов с окружающей средой.

Для оценки экологического состояния водоема применяются гидрохимические и гидробиологические показатели (Малавенда и др., 2008; Рыжик и др., 2014; Колбеева и др., 2017; Воскобойников и др., 2018; Воскобойников и др., 2019). Макроводоросли на внешнее воздействие (в том числе загрязнение) реагируют посредством морфофизиологических и популяционных изменений. В этой связи проводятся и прикладные исследования фукоидов с целью их использования в санитарной марикультуре. Представитель бурых водорослей фукус пузырчатый *Fucus vesiculosus* характеризуется хорошо выраженной сезонной, возрастной, географической и экологической изменчивостью и служит модельным объектом для изучения ответных реакций организмов и ценопопуляций на воздействие факторов среды (Воскобойников и др., 2006; Капков и др., 2018). Однако среди большого числа работ, посвященных указанному виду водорослей, редко встречаются исследования, охватывающие значительный период наблюдений. Поэтому в данной статье авторы обобщили накопленные за длительное время результаты и проверили их на ценопопуляционном уровне.

В ходе сравнительного исследования разнгодичных состояний ценопопуляции бурой водоросли *F. vesiculosus* на литорали Кольского залива в условиях антропогенного воздействия проанализированы возрастные показатели фукуса пузырчатого и дана оценка экологического состояния водоема по литературным данным.

Настоящая статья является продолжением публикаций материалов о возрастной структуре *F. vesiculosus* на литорали Кольского залива (Канищева (Гончарова), 2015). Результаты многолетних исследований литоральных сообществ в Кольском заливе (при этом особое внимание уделялось изучению фукусовых водорослей), проводимых сотрудниками кафедры биологии Мурманского государственного технического университета, изложены в работах (Завалко и др., 2008; Облучинская и др., 2008; Малавенда и др., 2010; Гончарова и др., 2013; Малавенда, 2016; Рыжик и др., 2018). Исследования в 1999 г. выполнены при поддержке грантов РФФИ № 99-04-48321, 01-04-49510 сотрудником Мурманского государственного технического университета Е. В. Шошиной; в 2009 г. – О. В. Канищевой (Гончаровой); в 2019 г. – сотрудниками Полярного филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича) О. В. Канищевой (Гончаровой), А. А. Канищевым. Авторы принимали участие в сборе и обработке проб макроводорослей.

Материалы и методы

Характеристика мест сбора проб

Сборы макроводорослей в 1999, 2009 и 2019 гг. выполняли на литорали южного (мыс Притыка и Абрам-мыс) и среднего (бухта Белокаменка) колен Кольского залива Баренцева моря (рис. 1).

Мыс Притыка располагается в южном колене на западном берегу Кольского залива (рис. 1). Ширина приливно-отливной зоны на мысе составляет около 80 м; уклон литорали 1–2° (слабо наклоненный). Дно представляет собой илистую литораль открытого типа, не защищенную от прибоя; поверхность осушки осложнена немногочисленными валунами (от 10 см). Имеется водоток сточных вод, соленость во время прилива составляет 15–20‰, отлива – 5‰. Пояс макрофитов развит незначительно. Существенное влияние на этот район оказывают стоки рек Кола и Тулома, сброс хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод от городской канализационно-очистой станции, а также отдаленные последствия проведения здесь крупномасштабных дноуглубительных работ при строительстве моста через залив в 1995–2005 гг.

Абрам-Мыс – район г. Мурманска, расположенный на противоположной от основного городского массива стороне залива (напротив порта) (рис. 1). Ширина приливно-отливной зоны на мысе незначительная (около 100 м); уклон литорали 3–5° (средне наклоненный). Верхний горизонт литорали представлен каменисто-галечной россыпью. В среднем горизонте литорали на поверхности илисто-песчаного грунта располагаются валуны, покрытые фукоидами (*Fucus vesiculosus*), которые формируют практически сплошной покров с отдельными "окнами" грунта (проективное покрытие фукоидов 90%). При приближении к нижнему

горизонту литорали количество валунов уменьшается, и проективное покрытие фукоидов составляет здесь не более 10 % (Назарова, 2015). Соленость во время прилива составляет 34 ‰, отлива – 10 ‰ (Малавенда, 2009). Инфраструктура поселка включает несколько промышленных предприятий и сельскохозяйственных ферм. Бытовые и промышленные стоки спускаются непосредственно в залив, их степень очистки минимальна.

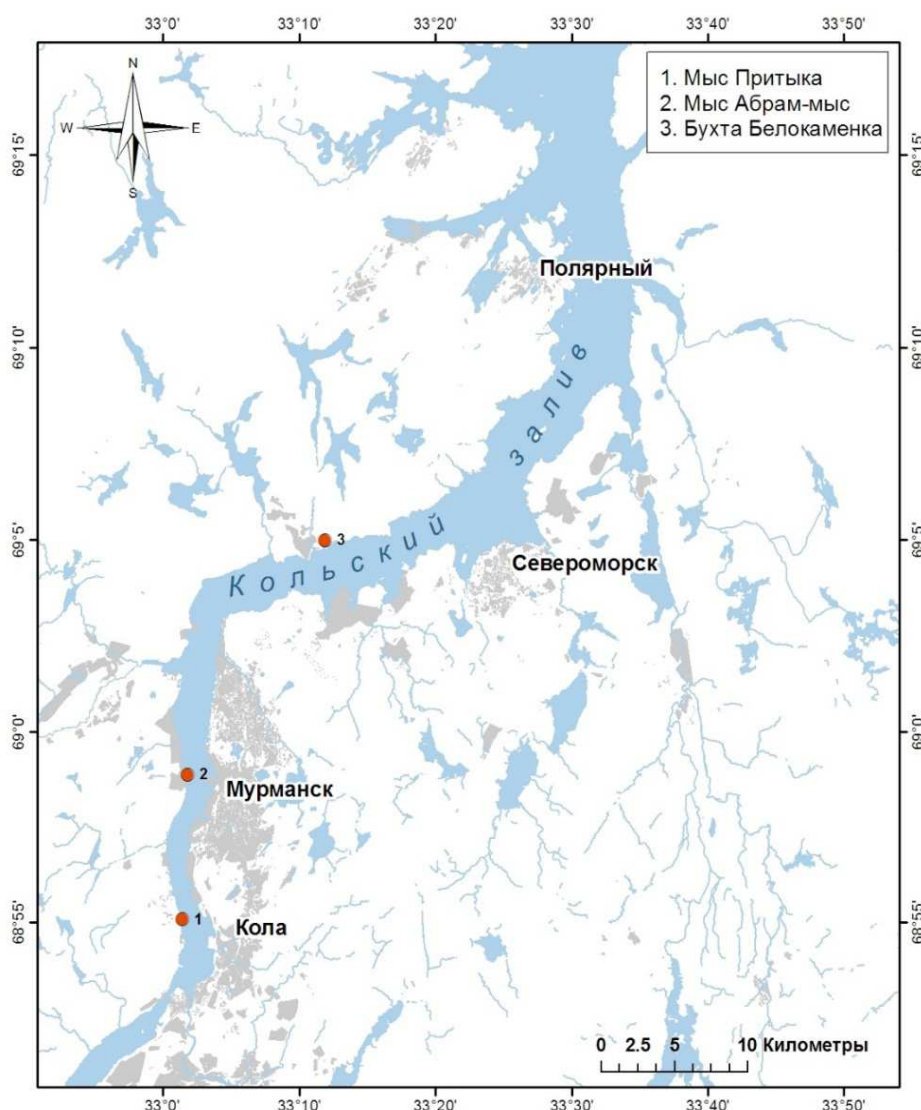


Рис. 1. Карта участков южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря.

Места отбора проб (●)

Fig. 1. Map of the southern and middle tribes of the Kola Bay of the Barents Sea.

Sampling locations (●)

Губа Белокаменка представляет собой небольшую бухту открытого типа в прибрежной излучине залива фьордового типа (U-образный тип с глубоко прорезанным ложем). Поэтому чаша губы, являющаяся естественным понижением береговой отмели, круто обрывается в Кольский залив. Непосредственно сама чаша губы полого и мелководна и в период отлива образует осушку, обнажающую большую часть ложа. Однако уже с 4-метровой изобаты начинается резкий обвал глубин. Литораль губы широкая, илисто-песчаная; соленость во время прилива составляет 34 ‰, отлива – 25 ‰ (Малавенда, 2009). На среднем горизонте литорали располагается каменисто-валунный пояс, на котором формируются заросли фукоидов.

Для исследуемого района характерна высокая хозяйственная освоенность территории суши и акватории Кольского залива, тяготеющих к крупному промышленному узлу Мурманск – Кола. Как следствие этого, отмечаются уже сложившийся под влиянием антропогенного пресса значительный уровень загрязненности вод Кольского залива и сильно разрушенные водные и сухопутные биоценозы (Ильин, 1992). Данное обстоятельство приобретает особую актуальность вследствие работ по строительству Центра строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС), осуществляемых ООО "Новатэк-Мурманск" с весны 2017 г. по настоящее время.

Отбор проб макроводорослей

Пробы водорослей отбирались в наиболее характерных местах обитания во время сизигийных отливов в зимне-весенний период методом вертикальных трансект с использованием рамки площадью 0,25 м² (Катугина-Гутник, 1975; Изучение экосистем..., 2005). Для изучения структуры поселений фукуса пузырчатого в 1999 г. закладывалось от 3 до 5 рамок, взято 12 проб макроводорослей и исследовано 5 620 растений, в 2009 и 2019 гг. закладывалось от 6 до 8 рамок, отобрано по 20 проб, изучено 2 577 и 2 046 растений соответственно. Общее количество отобранных проб и обработанных растений представлено в табл. 1.

Таблица 1. Объем обработанного материала в исследованных районах Кольского залива
Table 1. The volume of material processed within the studied areas of the Kola Bay

Год	Район исследования	Количество проб	Общее количество растений <i>Fucus vesiculosus</i> в пробах	Число промеренных растений <i>Fucus vesiculosus</i> в пробах
1999	Мыс Притыка	3	4 553	74
	Абрам-мыс	5	830	69
	Бухта Белокаменка	4	237	48
2009	Мыс Притыка	6	1 384	432
	Абрам-мыс	6	933	204
	Бухта Белокаменка	8	260	143
2019	Мыс Притыка	6	1 250	432
	Абрам-мыс	6	440	165
	Бухта Белокаменка	8	356	109

Возрастная структура ценопопуляций

В процессе разбора проб растения *F. vesiculosus* подразделяли на три возрастные группы: молодые (от первого до третьего года жизни); зрелые (от четвертого до шестого года); старые (старше шести лет). В качестве возрастного признака использовали количество дихотомических ветвлений, считая, что за год формируются два дихотомических ветвления на центральной оси слоевища (на первом году жизни слоевище не ветвится или формируется одно ветвление) (Возжиская и др., 1971; Максимова, 1980). Количество дихотомических ветвлений учитывали как физиологический возрастной признак. В каждой пробе определяли численность и суммарную массу растений каждой возрастной группы; измерения проводились у 6–10 растений *F. vesiculosus*. Таким образом, при разборе материала на уровне ценопопуляции оценивали следующие параметры: средний возраст фукусов и долю особей в каждой возрастной группе, численность и биомассу растений. Сырую массу определяли методом прямого взвешивания. Средний возраст особей рассчитывали как средневзвешенное всех возрастных групп.

Статистическая обработка

Статистическая обработка материала проводилась с использованием программного пакета Microsoft Office Excel. Каждый измеряемый параметр анализировали с помощью методов описательной статистики; в качестве показателя погрешности рассчитывали ошибку среднего. Карты были построены в среде настольного ГИС-приложения ArcMap 10.0 из пакета ArcGIS компании ESRI.

Результаты и обсуждение*Экологическое состояние вод Кольского залива*

Кольский залив Баренцева моря относится к числу прибрежных акваторий, отличающихся наиболее напряженной ситуацией в области морского природопользования. В данный водный объект осуществляется сброс производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод флотами и береговыми предприятиями различных ведомств, расположенными на его берегах, крупнейшими из которых являются ГОУП "Мурманскводоканал", МУП "Североморскводоканал", ОАО "Мурманский морской рыбный порт", ОАО "Мурманский морской торговый порт", ФГУП "Водоканал" МО РФ (г. Полярный), ФГУП "Атомфлот", Мурманская ТЭЦ (филиал ОАО "Колэнерго"), ФГУП ЦС "Звездочка". Наличие таких крупных организаций-водопользователей обуславливает необходимость постоянной оценки качества вод Кольского залива.

Согласно официальным данным в 1990-х гг. объем сточных вод, поступающих в залив, оставался стабильным несмотря на спад промышленного производства и некоторое сокращение численности населения (в 1990 г. – 126,2 млн м³, 1996 г. – 119,5 млн м³). В период 2000–2017 гг. величина стока значительно снизилась и варьировала от 82,4 до 36,5 млн м³ в год¹ (Кольский залив..., 1997).

¹ См.: Ежегодные доклады о состоянии окружающей среды Мурманской области (2001–2018 гг.). URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>; Качество морских вод по гидрохимическим показателям : ежегодник / под ред. А. Н. Корщенко. М. : Наука, 2005–2019.

К числу массовых загрязнителей Кольского залива, как и всех морских акваторий, относятся прежде всего нефтепродукты, которые присутствуют в виде пленок разной интенсивности на большей части залива. По официальным данным, их сток в залив в 1997–1998 гг. составлял порядка 41 и 70 т/год соответственно. С 2000 по 2017 гг. на фоне сокращения сброса нефтепродуктов их поступление изменялось от 60 до 5,8 т/год. В исследуемый период среднегодовое содержание нефтяных углеводородов составило 0,07–0,35 мг/л (1,4–7 ПДК), тогда как максимальные концентрации достигали 1,0 мг/л (более 20 ПДК).

Значительный вклад в общий объем сбросов вносят взвешенные вещества, поступающие от городских предприятий. Их общее поступление в 1990-е гг. оценивалось в 4,3 тыс. т/год, тогда как в 2000–2017 гг. происходило снижение сбросов от 5,8 тыс. т до 430 т в год. Близкие к этим величины характеризуют поступление легкоокисляемых органических веществ, сбросы которых в период 2000–2017 гг. сокращались от 9,2 тыс. т до 288 т в год² (*Кольский залив...*, 1997, 2009). Среднегодовые концентрации взвешенных и органических веществ (по БПК₅) за рассматриваемый период изменялись в пределах 1–7 мг/л (4–28 ПДК) и 0,39–2,80 мгО₂/л соответственно. Синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ) или моющие средства также в большей степени характерны для городских коммунальных стоков. Их поступление в период 2000–2017 гг. составило от 133 до 15 т/год, а концентрация варьировала в диапазоне 10–25 мкг/л и не превышала установленный допустимый норматив.

Из микроэлементов наиболее массовым в водах Кольского залива является железо, поступление которого в 2000–2017 гг. оценивалось в 13–118 т/год. Кроме того, определенный вклад в загрязнение водоема вносили также медь (1,6–2,0 т/год) и никель (0,3–0,4 т/год). Среднегодовое содержание железа в исследуемый период составило 33–438 мкг/л (0,7–9 ПДК), меди – 2,3–12 мкг/л (0,5–2 ПДК), никеля – 1,0–3,6 мкг/л (0,1–0,4 ПДК). Также в водах залива стабильно присутствовали такие элементы, как свинец (0,7–3,9 мкг/л) и кадмий (0,05–0,3 мкг/л), концентрации которых не превышали предельно допустимые нормативы. Часто встречаемым элементом являлась также и ртуть, содержание которой достигало 0,2 мкг/л (2 ПДК)³. Представленные материалы о многолетней динамике поступления поллютантов показали, что на фоне некоторого сокращения уровней сбросов загрязняющих веществ наблюдалось повышенное содержание отдельных компонентов. В водах Кольского залива отмечалась высокая концентрация нефтяных углеводородов и металлов (прежде всего железа и меди). По комплексным оценкам Мурманского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, экологическое состояние вод южного колена устойчиво квалифицируется III–V классами загрязненности (умеренно загрязненные или грязные воды). В среднем и северном коленах воды относятся к III и II классам качества (умеренно загрязненные или чистые) (*Кольский залив и нефть...*, 2018).

Возрастная структура

Возрастная структура отражает уровень воспроизводства и смертности в ценопопуляции и является важной характеристикой состояния (жизнеспособности) вида. По возрастной структуре ценопопуляции доминирующего в сообществе вида можно судить об уровне воздействия человека и прогнозировать изменения сообщества в целом. Динамика данных показателей проанализирована на примере ценопопуляции фукуса пузырчатого *Fucus vesiculosus* – наиболее распространенного на литорали Кольского залива вида. Средний возраст растений *F. vesiculosus* на различных участках литорали Кольского залива в разные годы различался (рис. 2). В 1999 г. средний возраст увеличивался от кута залива к центральной части (б. Белокаменка), при этом его наибольшие величины отмечались в б. Белокаменка и на Абрам-мысе (около трех лет). Спустя 10 лет средний возраст водорослей в районах южного и среднего колен оказался несколько ниже и составил около 1,5–2,0 лет, а в 2019 г. – 1,5 года. Для м. Притыка характерно постепенное увеличение среднего возраста (1,2–1,6 лет), тогда как в других биотопах наблюдалось уменьшение этого параметра в течение анализируемого периода (на Абрам-мысе – с 3 до 1,5 лет; в б. Белокаменка – с 3 до 1,3 лет). Таким образом, если в 1999 г. при продвижении к внутренней (более закрытой и загрязненной) части залива происходило омоложение растительных сообществ, то в 2009 и 2019 гг. отмечались незначительные колебания среднего возраста.

По возрастной структуре ценопопуляции фукуса пузырчатого в Кольском заливе (табл. 2) можно отнести к нормальному типу (*Одум, 1986*). В сообществах такого типа наблюдается большое число молодых растений, что свидетельствует о стабильности вида. Как правило, фукоиды приступают к размножению в возрасте 2–4 лет (позднее, чем многие другие многолетние виды макроводорослей). У *F. vesiculosus* рецептакулы закладываются осенью, медленно развиваются в течение всей зимы, массовый выход гамет

² См.: Ежегодные доклады о состоянии окружающей среды Мурманской области (2001–2018 гг.). URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>; Качество морских вод по гидрохимическим показателям : ежегодник / под ред. А. Н. Коршенко. М. : Наука, 2005–2019.

³ Там же.

наблюдается в первой половине лета. Количество зрелых особей в ценопопуляциях фукуса пузырчатого, по нашим данным, в исследуемый период достигало 27 % в зависимости от влияния экологических факторов. При этом основная репродуктивная нагрузка приходилась в основном на 4-5-летние особи *F. vesiculosus* (Шошина, 1998).

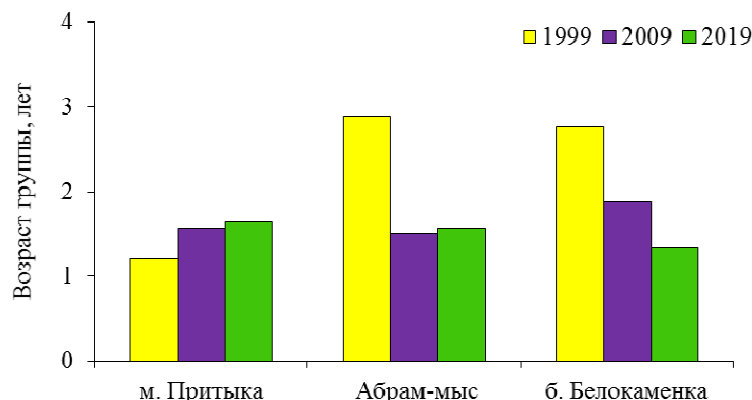


Рис. 2. Средний возраст растений *Fucus vesiculosus* в различных биотопах Кольского залива
Fig. 2. The average age of *Fucus vesiculosus* plants in various biotopes within the Kola Bay

Как видно из табл. 2, на рассматриваемых участках преобладали растения в возрастной группе до 3 лет, составлявшие от 73 до 97 %. Вместе с тем прослеживались изменения доли молодых растений фукуса внутри биотопов в наблюдаемый период. Так, если на литорали Абрам-мыса и б. Белокаменка отмечалось постепенное увеличение количества молодых особей (с 68 до 95 % и с 73 до 95 % соответственно), то в районе м. Притыка наблюдалось небольшое снижение доли этой возрастной группы (с 97 до 89 %).

Исследуемые районы различались колебаниями доли молодых фукусов. Согласно данным, указанным в табл. 2, в 1999 и 2009 гг. количество растений *F. vesiculosus* в возрасте от 1 до 3 лет уменьшалось от кутовой части залива к более мористым районам (с 92–97 до 68–73 %), а в 2019 г. наблюдалось возрастание числа молодых фукуидов в направлении среднего колена залива (с 89 до 94–95 %).

Большой процент фукусов старших возрастов (27–32 %) отмечался только в 1999 г. на литорали Абрам-мыса и б. Белокаменка, тогда как в 2009 г. их доля составила 8–11 %, а в 2019 г. наблюдалась обратная ситуация: снижение доли старших возрастов с 10 до 5 %. Внутри анализируемых сообществ фукусовых также выявлены колебания числа особей старше 3 лет, а именно их увеличение на м. Притыка (с 3 % в 1999 г. до 11 % в 2019 г.) и сокращение доли растений этого возраста в районах Абрам-мыса и б. Белокаменка (с 32–27 % в 1999 и 2009 гг. до 5 % в 2019 г. соответственно).

Таблица 2. Доля особей в возрастных группах от численности растений в сообществах *F. vesiculosus* на исследуемых участках Кольского залива

Table 2. The proportion of individuals in the age groups of the number of plants in the *F. vesiculosus* communities within the studied areas of the Kola Bay

Район исследования	Количество особей, %					
	до 3 лет			старше 3 лет		
	1999 г.	2009 г.	2019 г.	1999 г.	2009 г.	2019 г.
Мыс Притыка	96,88	92,23	89,28	3,12	7,77	10,72
Абрам-мыс	68,31	91,25	95,45	31,69	8,25	4,55
Бухта Белокаменка	72,57	88,85	94,66	27,43	11,15	5,34

Численность растений

В результате проведенных исследований установлено, что возрастная структура растений *F. vesiculosus* в ряде районов отличалась более длинным возрастным рядом и численностью особей в разные годы (рис. 3). В ценопопуляциях *F. vesiculosus* на исследуемых участках встречены растения от 1 года до 10–13 лет. По данным некоторых авторов, максимальная продолжительность жизни фукуса в Баренцевом море составляла 12 лет (Кузнецов, 1960; Евсеева, 2015), что соответствует нашим данным. Таким образом, продолжительность жизни определяется наличием подходящего субстрата, местными гидрологическими и климатическими условиями.

Данные, полученные исследователями (Толстикова, 1977; Завалко и др., 2008; Евсеева, 2015), свидетельствуют о том, что в разных районах Баренцева моря на литорали среди зарослей фукусов преобладали молодые растения. По нашим наблюдениям, доминировали молодые фукусы в возрасте от 1 года до 3 лет, среди этих водорослей наибольшее количество (до 92 %) приходилось на первогодки. Фукоиды старшего возраста представлены особями от 4–6 лет. В этом возрастном диапазоне выделялись четырехлетки (3–12 %) и пятилетки (до 8 %). В дальнейшем количество растений более старших возрастов не превышало 2–3 % и с увеличением возраста их доля постепенно сокращалась до 1 %.

Исходя из полученных результатов, можно отметить некоторые различия в продолжительности жизни между растениями из разных мест произрастания. Так, на литорали м. Притыка и Абрам-мыса в 1999 г. продолжительность жизни растений достигала 11 и 13 лет соответственно. Спустя десять лет эти величины несколько уменьшились и составили 8 и 10 лет, а в 2019 г. в обоих биотопах продолжительность жизни составила 7 лет. Иная ситуация в период исследований сложилась в б. Белокаменка, где максимальный возраст (13 лет) отмечен в 2009 г., тогда как в 1999 и 2019 гг. это значение было меньше – 9 и 6 лет соответственно. Указанные тенденции могут быть связаны с факторами как природного, так и антропогенного происхождения.

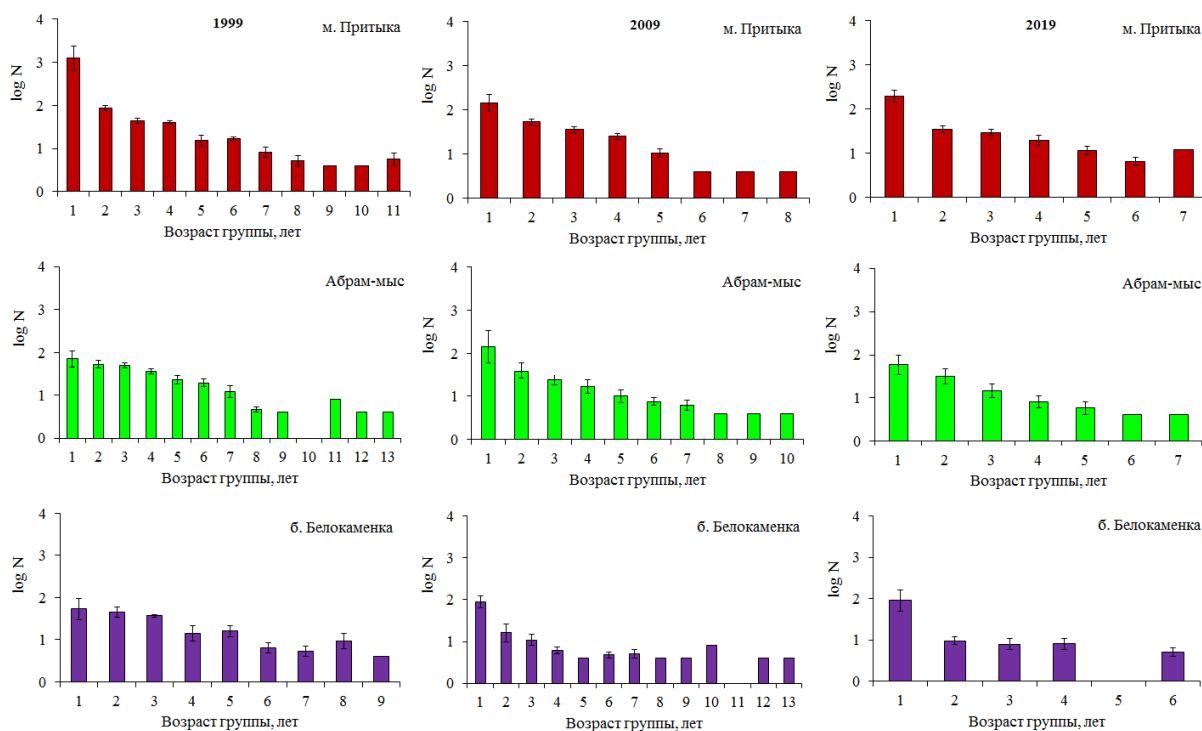


Рис. 3. Численность растений *F. vesiculosus* разных возрастных групп в исследуемых районах Кольского залива ($\lg N$ – логарифм от численности особей, экз./м²)

Fig. 3. The number of *F. vesiculosus* plants of different age groups within the studied areas of the Kola Bay ($\lg N$ is the logarithm of the number of individuals, ind./m²)

Биомасса растений

Биомасса разных возрастных групп является интегральным показателем состояния водорослей, отражающим их адаптацию ко всему комплексу условий произрастания (рис. 4). По биомассе в исследованных районах доминировали растения 4-6-летнего возраста. Биомасса в большинстве изученных биотопов была невысокая и редко превышала 0,5–0,7 кг/м². Как видно из рис. 4, единичные взрослые растения 7–8 лет и старше могут достигать крупных размеров и массы и вносить вклад в общую биомассу ценопопуляций. Так, в б. Белокаменка в 1999 г. особи в возрасте 8 лет обладали наибольшей биомассой (1,0 кг/м²); в 2019 г. на литорали м. Притыка водоросли 7-летнего возраста создавали наибольшую биомассу (1,1 кг/м²). При этом на литорали м. Притыка отмечалось увеличение биомассы в течение исследуемого периода с 0,3 до 1,1 кг/м², тогда как в остальных биотопах наблюдалось ее сокращение от 0,7 до 0,2 кг/м² (Абрам-мыс) и с 1,0 до 0,3 кг/м² (б. Белокаменка). Кроме того, выявлено постепенное увеличение биомассы в 1999 г. от кутовой к центральной части залива (0,3–1,0 кг/м²) и ее сокращение в последующие периоды до 0,3–0,4 кг/м² (2009 г.) и 0,3 кг/м² (2019 г.), что в совокупности с исчезновением из ценопопуляции

отдельных возрастных групп может рассматриваться как адаптивная реакция фукуса пузырчатого на хроническое поступление в Кольский залив различных поллютантов.

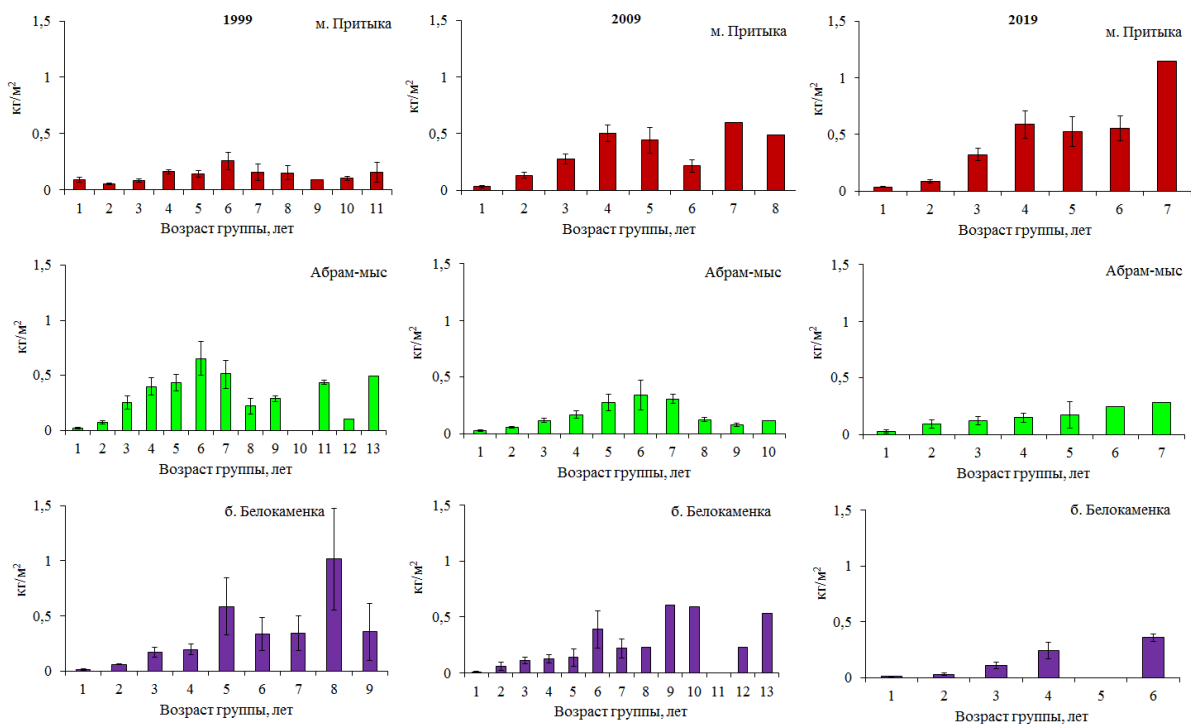


Рис. 4. Биомасса разных возрастных групп растений *Fucus vesiculosus* в исследуемых районах Кольского залива

Fig. 4. Biomass of different age groups of *Fucus vesiculosus* plants within the studied areas of the Kola Bay

Таким образом, на основании проведенного исследования возрастной структуры *F. vesiculosus* в периоды 1999, 2009 и 2019 гг. можно сделать вывод о стабильности ценопопуляции этого вида на литорали Кольского залива, что подтверждается наличием длинного (до 13 лет) возрастного ряда (на фоне некоторого его сокращения в 1999–2019 гг. – до 6–7 лет); присутствием растений различных возрастных групп (при этом основу сообществ составляли молодые особи в возрасте от 1 до 3 лет), а также тем фактом, что единичные взрослые растения, достигая крупных размеров, могут создавать значительную биомассу.

Заключение

В ходе исследований проанализирована разногодичная изменчивость возрастных характеристик ценопопуляций фукуса пузырчатого – наиболее пластичного по отношению к условиям среды представителя фукоидов, способного к выживанию в широких градиентах факторов среды, что способствует использованию вида в гидробиологических и прикладных исследованиях.

Анализ литературной информации по многолетней динамике поступления и содержания поллютантов в Кольском заливе показал, что на фоне некоторого сокращения уровней сбросов загрязняющих веществ наблюдалось повышенное содержание нефтяных углеводородов и металлов (железа и меди), которое в свою очередь предположительно могло воздействовать на сообщества *F. vesiculosus*.

Тем не менее в условиях антропогенного воздействия регистрировался нормальный тип возрастной структуры доминирующего вида, характерный для стабильных сообществ. В исследованных районах отдельные растения *F. vesiculosus* достигали значительного возраста (крупных размеров и массы). Также отмечено снижение численности растений старших возрастных групп. Наблюдался рост биомассы фукусовых водорослей в 1999 г. и ее последующее уменьшение в 2009 и 2019 гг. на фоне исчезновения из ценопопуляции старших возрастных групп. Сравнительный анализ изменчивости возрастной структуры фукуса пузырчатого в 1999, 2009 и 2019 гг. свидетельствует о стабильности данного вида на литорали Кольского залива, подверженного антропогенному воздействию. Полученные результаты можно рассматривать как приспособительные реакции фукоидов на продолжающуюся интоксикацию водоема с целью учета этой информации при прогнозировании возможного изъятия ресурсов водорослей, а также в ходе оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Благодарности

Авторы глубоко признательны выпускнику биологического факультета МГТУ Винокурову Александру Сергеевичу за содействие в сборе первичных данных за 2009 г. Особую благодарность авторы выражают сотруднику Полярного филиала ВНИРО ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича) Драганову Дмитрию Михайловичу за помощь в подготовке и оформлении картографического материала, а также Узбековой Ольге Раиловне и Барышникову Андрею Владимировичу за содействие в сборе первичных данных за 2019 г.

Библиографический список

- Возжинская В. Б., Цапко А. С., Блинова Е. И. [и др.]. Промысловые водоросли СССР : справочник. М. : Пищ. пром-сть, 1971. С. 172–189.
- Воскобойников Г. М., Макаров М. В., Малавенда С. В., Митяев М. В. [и др.]. Роль морских водорослей-макрофитов в очистке прибрежных акваторий от нефтепродуктов // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов ("Опасные явления") : материалы междунар. науч. конф., Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г. Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2019. С. 356–357.
- Воскобойников Г. М., Макаров М. В., Рыжик И. В. Изменения в составе фотосинтетических пигментов и структуре клеток *Fucus vesiculosus* L. и *F. serratus* L. из Баренцева моря при длительном нахождении в темноте // Биология моря. 2006. Т. 32, № 1. С. 26–33.
- Воскобойников Г. М., Метелькова Л. О., Макаров М. В., Рыжик И. В. [и др.]. Водоросли-макрофиты Баренцева моря в биоремедиации морской среды от нефтепродуктов // Биомониторинг в Арктике : сб. тез. докл. участников междунар. конф., Архангельск, 26–27 ноября 2018 г., Архангельск : САФУ, 2018. С. 40–43.
- Гончарова О. В., Шошина Е. В. Морфофункциональные параметры *Fucus vesiculosus* в условиях Кольского залива // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 437–448.
- Евсеева Н. В. Структура ценопопуляций промысловых фукусовых водорослей на литорали западного Мурмана // Труды ВНИРО. 2015. Т. 154. С. 70–79.
- Завалко С. Е., Шошина Е. В. Многоуровневая морфофизиологическая оценка состояния фукусовых водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Кольский залив, Баренцево море) // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 423–431.
- Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Выпуск 3. Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны / авт.-сост.: Е. И. Блинова, О. Ю. Вилкова, Д. М. Милютин [и др.]. М. : ВНИРО, 2005. 135 с.
- Ильин Г. В. [и др.]. Современное экологическое состояние бухты Белокаменка Кольского залива и прилегающей территории (экологическая справка в связи с их промышленным освоением). Апатиты : КНЦ РАН, 1992. 58 с.
- Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. Киев : Наукова думка, 1975. 247 с.
- Канишева (Гончарова) О. В., Шошина Е. В. Возрастная структура поселений *Fucus vesiculosus* на литорали Кольского залива // Вестник Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 1. С. 40–47.
- Капков В. И., Шошина Е. В. Сообщества макроводорослей арктической зоны Баренцева моря и изменение климата // Вестник МГТУ. 2018. Т. 21, № 2. С. 228–236. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-2-228-236>.
- Колбеева М. В., Фисак Е. А., Рыжик И. В. Активность каталазы баренцевоморского вида *Fucus vesiculosus* в условиях антропогенного загрязнения // Флора и фауна урбанизированных территорий в высоких широтах : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 26–28 апреля 2016 г. Мурманск : МАГУ, 2017. С. 74–77.
- Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение / под ред. А. А. Шавыкина. СПб. : Реноме, 2018. 520 с.
- Кольский залив. Освоение и рациональное природопользование / отв. ред. Г. Г. Матишов. М. : Наука, 2009. 381 с.
- Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты : КНЦ РАН, 1997. 265 с.
- Кузнецов В. В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М. ; Л. : АН СССР. 1960. 322 с.
- Макимова О. В. Некоторые сезонные особенности развития и определения возраста беломорских фукоидов // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М. : Наука, 1980. С. 73–78.
- Малавенда С. С. Динамика биомассы и численности фукусовых водорослей Кольского залива Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 296–301. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/2-296-301>.

- Малавенда С. С. Морфофизиологические особенности бурой водоросли *Fucus distichus* L. в экосистемах Баренцева моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. М., 2008. 25 с.
- 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.
- Малавенда С. С., Кравец П. П., Шошина Е. В. Исследование фитобентосных сообществ литорали губы Тюва Кольского залива // Рыбное хозяйство. 2010. № 5. С. 62–65.
- Назарова С. А. Организация поселений *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) в осушной зоне Белого и Баренцева морей : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. СПб, 2015. 196 с.
- Облучинская Е. Д., Шошина Е. В. Использование фукусовых водорослей Баренцева моря // Рыбное хозяйство. 2008. № 2. С. 105–107.
- Одум Ю. П. Экология : в 2 т. М. : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
- Рыжик И. В., Макаров М. В. Физиологическое состояние *Fucus vesiculosus* L. при длительном нахождении в воздушной среде // Вестник МГТУ. 2018. Т. 21, № 2. С. 253–260. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-2-253-260>.
- Рыжик И. В., Макаров М. В., Воскобойников Г. М. Физиологическое состояние литоральных бурых водорослей *Fucus serratus* Linnaeus, 1753 и *Fucus distichus* Linnaeus, 1767, произрастающих на плантации-биофилтре в Баренцевом море // Биология моря. 2014. Т. 40, № 2. С. 131–136.
- Степаньян О. В., Воскобойников Г. М. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей // Биология моря. 2006. Т. 32. № 4. С. 241–248.
- Толстикова Н. Е. Некоторые особенности развития фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus* L.) и аскофиллума (*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis) на побережье Баренцева моря // Труды ВНИРО. 1977. Т. 124. С. 31–36.
- Шошина Е. В. Фукусовые водоросли // Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей / отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты : КНЦ РАН, 1998. С. 174–187.

References

- Vozzhinskaya, V. B., Tsapko, A. S., Blinova, E. I. et al. 1971. Commercial algae of the USSR. Handbook. Moscow, pp. 172–189. (In Russ.)
- Voskoboinikov, G. M., Makarov, M. V., Malavenda, S. V., Mityaev, M. V. et al. 2019. The role of macrophyte algae in the treatment of coastal areas from oil products. Proceedings of Intern. conf. *Regularities of Formation and Impact of Marine and Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation under the Conditions of Global Climatic and Industrial Challenges ("Dangerous Phenomena")*. Rostov-on-Don, pp. 356–357. (In Russ.)
- Voskoboinikov, G. M., Makarov, M. V., Ryzhik, I. V. 2006. Changes in the composition of photosynthetic pigments and cells structure of *Fucus vesiculosus* L. and *F. serratus* L. of the Barents Sea with prolonged exposure to darkness. *Russian Journal of Marine Biology*, 32(1), pp. 26–33. (In Russ.)
- Voskoboinikov, G. M., Metelkova, L. O., Makarov, M. V., Ryzhik, I. V. et al. 2018. Algae-macrophytes of the Barents Sea in the bioremediation of the marine environment from oil products. Abstract of reports *Biomonitoring in the Arctic*, Arkhangelsk, pp. 40–43. (In Russ.)
- Goncharova, O. V., Shoshina, E. V. 2013. Morphological and functional parameters of *Fucus vesiculosus* in the Kola Bay. *Vestnik of MSTU*, 16(3), pp. 437–448. (In Russ.)
- Evseeva, N. V. 2015. Structure of cenopopulations of commercial *Fucus* algae in the littoral zone of western Murman. *Trudy VNIRO*, 154, pp. 70–79. (In Russ.)
- Zavalko, S. E., Shoshina, E. V. 2008. A multilevel morphophysiological assessment of the condition of *Fucus* algae under anthropogenic pollution (the Kola Bay, Barents Sea). *Vestnik of MSTU*, 11(3), pp. 423–431. (In Russ.)
- Study of ecosystems of fishery reservoirs, collection and processing of data on aquatic biological resources, engineering and technology their extraction and processing, 2005. Iss. 3. In *Methods of landscape research and assessment of stocks of bottom invertebrates and algae of the marine coastal zone*. Eds. Blinova, E. I., Vilkova, O. V., Milyutin, D. M., Pronina, O. A. et al. Moscow. (In Russ.)
- Ilyin, G. V. et al. 1992. The current ecological state of the Belokamenka bay of the Kola Bay and the adjacent territory (ecological information due to their industrial development). Apatity. (In Russ.)
- Kalugina-Gutnik, A. A. 1975. Phytobenthos of the Black Sea. Kiev. (In Russ.)
- Kanishcheva (Goncharova), O. V., Shoshina, E. V. 2015. Age structure of *Fucus vesiculosus* settlements on the littoral of the Kola Bay. *Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences*, 25(1), pp. 40–47. (In Russ.)
- Kapkov, V. I., Shoshina, E. V. 2018. Macroalga communities of the Arctic zone of the Barents Sea and climate change. *Vestnik of MSTU*, 21(2), pp. 228–236. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-2-228-236>.

- Kolbeeva, M. V., Fisak, E. A., Ryzhik, I. V. 2017. Catalase activity of the Barents Sea species *Fucus vesiculosus* under conditions of anthropogenic pollution. Proceedings of Intern. conf. *Flora and fauna of urban areas in high latitudes*. Murmansk, pp. 74–77. (In Russ.)
- Kola Bay and oil: Biota, vulnerability maps, pollution. 2018. Ed. A. A. Shavykin. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Kola Bay. Development and rational nature management. 2009. Ed. G. G. Matishov. Moscow. (In Russ.)
- Kola Bay: Oceanography, biology, ecosystems, pollutants. 1997. Ed. G. G. Matishov. Apatity. (In Russ.)
- Kuznetsov, V. V. 1960. The White Sea and its biological characteristics of flora and fauna. Moscow. (In Russ.)
- Maksimova, O. V. 1980. Some seasonal features of development and determination of the age of the White Sea fucoids. In *Bottom flora and production of the marginal seas of the USSR*. Moscow, pp. 73–78. (In Russ.)
- Malavenda, S. S. 2016. Dynamics of biomass and abundance of *Fucus* algae in the Kola Bay of the Barents Sea. *Vestnik of MSTU*, 19(1/2), pp. 296–301. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/2-296-301>. (In Russ.)
- Malavenda, S. S. 2009. Morphophysiological features of brown alga *Fucus distichus* L. in ecosystems of the Barents Sea. Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Malavenda, S. S., Zuev, Yu. A., Kravets, P. P. 2008. Benthic communities of the Kola Bay. A hundred years ago, yesterday, today, tomorrow? *Rybnoe Khoziaystvo (Fisheries)*, 2, pp. 66–68. (In Russ.)
- Malavenda, S. S., Kravets, P. P., Shoshina, E. V. 2010. Study of phytobenthic communities within littoral of the Tyva Bay of the Kola Bay. *Rybnoe Khoziaystvo (Fisheries)*, 5, pp. 62–65. (In Russ.)
- Nazarova, S. A. 2015. Organization of *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) settlements in the Arid Zone of the White and Barents Seas. Ph.D. Thesis. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Obluchinskaya, E. D., Shoshina, E. V. 2008. Use of *Fucus* algae in the Barents Sea. *Rybnoe Khoziaystvo (Fisheries)*, 2, pp. 105–107. (In Russ.)
- Odum, Yu. 1986. Ecology. In 2 v., Vol. 1. Moscow. (In Russ.)
- Ryzhik, I. V., Makarov, M. V. 2018. Physiological state of *Fucus vesiculosus* L. with prolonged exposure to air. *Vestnik of MSTU*, 21(2), pp. 253–260. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-2-253-260>. (In Russ.)
- Ryzhik, I. V., Makarov, M. V., Voskoboinikov, G. M. 2014. Physiological state of littoral brown algae *Fucus serratus* Linnaeus, 1753 and *Fucus distichus* Linnaeus, 1767, grown on a biofilter plantation in the Barents Sea. *Russian Journal of Marine Biology*, 40(2), pp. 131–136. (In Russ.)
- Stepanyan, O. V., Voskoboinikov, G. M. 2006. Influence of oil and oil products on the morphofunctional features of marine macroalgae. *Russian Journal of Marine Biology*, 32(4), pp. 241–248. (In Russ.)
- Tolstikova, N. E. 1977. Some features of the development of *Fucus vesiculosus* (*Fucus vesiculosus* L.) and *ascophyllum* (*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis) on the coast of the Barents Sea. *Trudy VNIRO*, 124, pp. 31–36. (In Russ.)
- Shoshina, E. V. 1998. *Fucus* algae. In *Harvesting and perspective algae and invertebrates for uses of the Barents and White Seas*. Apatity, pp. 174–187. (In Russ.)

Сведения об авторах

Канищева Ольга Валерьевна – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), специалист; e-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8375>

Olga V. Kanishcheva – 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, Russia, 183038; Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("PINRO" named after N. M. Knipovich), Specialist; e-mail: olga.goncharova1986@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8375>

Канищев Алексей Анатольевич – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), ст. специалист; e-mail: alexey2041@yandex.ru

Alexey A. Kanishchev – 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, Russia, 183038; Polar Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("PINRO" named after N. M. Knipovich), Senior Specialist; e-mail: alexey2041@yandex.ru

Шошина Елена Васильевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, д-р биол. наук, профессор; e-mail: shoshinaev@gmail.com

Elena V. Shoshina – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Dr Sci. (Biology), Professor; e-mail: shoshinaev@gmail.com