

УДК 574.5.587:582.26/27(268.4)

В. И. Капков, Е. В. Шошина

Сообщества макроводорослей арктической зоны Баренцева моря и изменение климата

Проведены исследования видовой структуры бентосных водорослей в сообществах прибрежной зоны арктических архипелагов Баренцева моря на основе материалов экспедиционных работ. Обоснована необходимость использования бентосных фитоценозов, занимающих определенный биотоп с характерными особенностями грунта, течениями, ледовой обстановкой, в процессе оценки экологического состояния морских прибрежных арктических экосистем. Видовой состав фитоценозов открытых и закрытых ледовым покровом участков моря существенно различается. Установлено, что в экстремальных арктических условиях на открытых ото льда участках наблюдается относительно высокое видовое разнообразие водорослей. На закрытых участках отмечается сокращение видового разнообразия, нарушение поясного распределения водорослей и упрощение структуры сообщества за счет уменьшения связей между популяциями водорослей. Водоросли в таких сообществах связаны между собой и с другими бентосными организмами топическими, трофическими и медиативными связями. Использование растительных сообществ, а не отдельных видов водорослей в качестве биологических индикаторов и мониторов позволяет получать более полную информацию об экологическом состоянии прибрежных биоценозов и экосистемы в целом. Результаты исследования можно использовать также в ходе прогнозирования состояния биотического сообщества при изменении климата в арктической зоне Баренцева моря. Сходство видовой состава водорослей арктической зоны с таковыми, обитающими в бореальной зоне моря, включая мурманское побережье, при высоком коэффициенте флористического сходства позволяет сделать заключение, что возможное потепление приведет к формированию в арктических районах характерных для южных районов Баренцева моря донных растительных сообществ.

Ключевые слова: бентосные сообщества макроводорослей, биологический мониторинг, арктические морские прибрежные экосистемы, изменение климата.

Введение

В настоящее время в связи с освоением энергетических ресурсов на шельфе арктических морей и неизбежными экологическими последствиями при их добыче возрастает интерес к изучению донных сообществ. При этом существенное внимание уделяется исследованию активных контактных зон, включая прибрежные экосистемы как наиболее подверженные антропогенному прессу. Бентосные сообщества, в которых ограничение развития прикрепленных организмов в большей степени обусловлено наличием твердого субстрата и недостатком пространства, чем пищей, характеризуются относительно высоким видовым разнообразием [1]. Поэтому в бентосных сообществах видовое разнообразие может служить показателем функциональной стабильности экосистемы. Это особенно актуально использовать при исследовании фитобентосных сообществ арктических архипелагов Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Шпицберген с их широким разнообразием биотопов. Каждое сообщество в прибрежных водах архипелагов занимает определенный биотоп с характерными условиями и обычно отличается от сообщества другого биотопа по видовому составу, плотности популяций водорослей и биомассе. Поэтому донные растительные сообщества могут служить биологическими индикаторами состояния окружающей среды.

Основная концепция, рассматривающая возможность использования индикаторных организмов в процессе прогнозирования состояния водных экосистем, состоит в том, что определенные виды характеризуют состояние биотического сообщества и экосистемы в целом. Использование сообществ первичных продуцентов в качестве биологических индикаторов предпочтительнее, чем отдельных видов, поскольку позволяет получать интегральную картину состояния прибрежной экосистемы, что особенно важно при прогнозировании возможных экологических последствий природного и антропогенного воздействия на экосистему. Интерес к изучению бентосных фитоценозов арктической зоны возрастает из-за ускоряющегося процесса таяния ледников и освобождения прибрежных акваторий от ледового покрова.

К настоящему времени опубликованы материалы полярных баренцевоморских экспедиций, в которых подробно описывается видовой состав, особенности распределения макроводорослей в прибрежных сообществах, их численность и биомасса, а также некоторые морфологические изменения водорослей и продукционные характеристики сообществ [1–7]. В то же время остается мало исследованной экологическая структура фитоценозов, выраженная в формировании многоярусных

сообществ, в которых разные популяции водорослей приобрели морфологические признаки, позволяющие им занять определенный биотоп в результате конкуренции за субстрат. Знание экологических особенностей функционирования бентосных фитоценозов в разных биотопах прибрежной зоны моря открывает новую перспективу в использовании водорослевых сообществ в качестве биологических мониторов состояния среды в условиях возрастающего антропогенного воздействия на арктические экосистемы.

В этой связи нами предпринята попытка на основе собственных данных, а также результатов, полученных нашими коллегами в полярных экспедициях, восполнить этот пробел. Цель работы – изучение видовой структуры арктических фитобентосных сообществ Баренцева моря в зависимости от экологических факторов. Выделив наиболее актуальные направления в исследовании донных биоценозов арктической зоны моря, мы надеемся, что анализ полученных данных будет способствовать дальнейшему изучению растительных сообществ. Гидробиологический прогноз состояния морских прибрежных экосистем, основанный на анализе биотической компоненты, требует при изучении бентосных сообществ сочетания биогеографического подхода с количественными методами современной экологии.

Материалы и методы

Работы проводили в ходе экспедиций в прибрежной зоне арктических островов Баренцева моря (архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля). Методы работы, отбор проб, их обработка и анализ полученных результатов описаны в наших предыдущих публикациях [5–9]. В экспедиционных исследованиях использовались как традиционные гидробиологические методы отбора проб в бентосных сообществах, так и отбор проб с помощью легкого водолазного оборудования. Кроме того, проведен тщательный анализ результатов экспедиций на архипелаги Шпицберген, Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, осуществленных другими авторами [1–4; 10–12].

Результаты и обсуждение

В арктической зоне исследованных районов Баренцева моря сообщества бентосных водорослей по видовому составу представляют собой обедненные фитоценозы Северной Атлантики с высоким коэффициентом флористического сходства [3]. Основной фон фитоценозов формируют крупные бурые водоросли, которые обычно доминируют в сообществе по биомассе. Снижение видового обилия и биомассы водорослей связано со сложными гидрологическими условиями этой зоны моря. Важнейшим экологическим фактором, определяющим развитие растительных сообществ в арктических экосистемах, является ледовый покров. Большую часть года арктическая шельфовая зона (особенно у берегов Земли Франца-Иосифа) покрыта сплошным припайным льдом. В периоды образования, ломки и торошения льда во время прибоя льдины сдирают водоросли с твердого субстрата, вспахивая дно до глубины 2–6 м [1].

В сообществах прибрежной зоны арктических архипелагов важнейшая роль в продуцировании органического вещества принадлежит бентосным макроводорослям [7]. Водоросли в таких сообществах связаны между собой и с другими бентосными организмами топическими, трофическими и медиативными связями [8]. Существование водорослевых сообществ в районах, большую часть года покрытых льдом, свидетельствует также о способности обитающих на дне водорослей к питанию органическим веществом автохтонного и аллохтонного происхождения [13]. При этом выделяемые гидробионтами метаболиты выполняют трофические и информационные функции, регулируя биотические и трансбиотические отношения в бентосном сообществе [8].

В табл. 1 представлены данные о количестве видов в обследованных прибрежных водах основных архипелагов Баренцева моря.

Таблица 1. Распределение бентосных водорослей в арктической прибрежной зоне Баренцева моря [6]
Table 1. Distribution of benthic algae in the Arctic coastal zone of the Barents Sea

Район	Общее число видов	Водоросли		
		красные	бурые	зеленые
Баренцево море	178	70	74	34
Шпицберген (восточное побережье)	39	10	17	12
Новая Земля (западное побережье)	41	17	17	7
Земля Франца-Иосифа	60	17	26	17

Из таблицы следует, что в прибрежной зоне восточного Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа доминантными формами являются бурые водоросли; фитоценозы западной части Новой Земли исследованы в основном у южного острова [10–12]. Соотношение красных и бурых водорослей [показателя таксономической структуры исследованных фитоценозов (Rh/Ph), изменяющегося в пределах 0,6–1,0] характеризует видовой состав сообщества как высокоширотную арктическую флору.

Сопоставление Rh/Ph во флоре более южных районов Баренцева моря и Северной Атлантики показало аналогичные величины флористических коэффициентов [14].

В результате анализа биогеографической структуры донных фитоценозов определено, что число арктических видов в растительных сообществах арктической зоны незначительно и существенно меньше количества высокобореально-арктических и широкобореально-арктических видов водорослей (табл. 2). Такой видовой состав свидетельствует, возможно, о том, что формирование донных сообществ в арктической баренцевоморской зоне имело место уже после последнего оледенения моря.

Таблица 2. Широтно-зональное распространение водорослей в арктической зоне Баренцева моря
Table 2. The latitude-zonal distribution of algae in the Arctic zone of the Barents Sea

Водоросли	Общее число видов	Географическая группа видов		
		арктических	высокобореально-арктических	бореально-арктических
Красные	19	2	8	9
Бурые	21	2	15	4
Зеленые	14	1	5	8

Важнейшим экологическим фактором, определяющим развитие донных растительных сообществ, наряду с наличием твердого каменистого субстрата, является годовой уровень солнечной радиации. Снежно-ледовый покров, ограничивающий доступ солнечной радиации большую часть года, а иногда и круглый год, препятствует развитию водорослей сублиторальной зоны (за исключением криофильных форм, обитающих на поверхности льда). В прибрежной зоне Земли Франца-Иосифа у островов Рудольфа и Земля Александры, покрытых льдом круглый год, бентосные водоросли в сублиторали не обнаружены [1].

Ограничение светового потока в фотическую зону нарушает циркадный ритм в росте и сроках размножения бентосных водорослей. Известно, что циркадный ритм, как наиболее точный индикатор биологического времени для живых организмов, является основным синхронизирующим фактором, определяющим периодичность метаболических и ростовых процессов и жизненных циклов водорослей. Следствием адаптации водорослей к экстремальным условиям арктической зоны моря оказывается разобщение во времени вегетативного роста и генеративных процессов. В популяциях бурых ламинариевых водорослей арктической зоны, формирующих ядро сообщества, по сравнению с мурманским побережьем доминируют, как правило, растения в возрасте 1+, 2+ и 3+ лет с измененной морфологией, в то время как число фертильных растений относительно больше в старших возрастных группах (рис. 1).

В процессе развития донных фитоценозов в прибрежной зоне моря для прикрепления водорослей ризоидами в первую очередь требуется твердый субстрат. Наиболее подходящим субстратом являются валунно-галечные образования и выходы скальных пород. Некоторые острова арктических архипелагов сложены в основном из непрочных пород; прибрежные водные потоки и ледники выносят в море обильный материал их разрушения. В результате терригенного стока в прибрежной зоне накапливается тонкодисперсный материал, который при волнениях моря снижает прозрачность воды. Поэтому в вершинах заливов и бухт донные осадки представлены преимущественно песчано-илистыми фракциями, в то время как на открытых для волнового воздействия участках прибрежной зоны в отложениях преобладают валунно-галечные и скальные породы [1].

Важным фактором, обуславливающим поясное и мозаичное распределение зарослей растений на арктическом шельфе, является наличие или отсутствие каменистых пород. Поэтому конкуренция между видами водорослей за субстрат способствует формированию многоярусных фитоценозов. Наиболее развитые заросли водорослей находятся на внешней части губ и открытых банок. При этом в зависимости от другого важного фактора – степени волновых явлений и течений – формируются два основных типа водорослевых бентосных сообществ.

На открытых от волновых воздействий участках сублиторали распространены "смешанные" сообщества водорослей, в которых доминируют *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*, *Alaria esculenta*, *Laminaria solidungula* (с пятнистым распределением доминирующих форм). Причем в популяциях преобладают растения разных возрастных групп: особи в возрасте 4+ и 5+ лет обитают на глубинах 5–9 м, а более молодые – на глубинах 1–5 м [11].

Для закрытых участков со слабым обменом водных масс и невысокими приливами, характерных для арктических архипелагов моря, свойственно прерывисто-поясное распределение водорослевых донных сообществ. Верхняя граница сублиторальных фитоценозов в таких биотопах определяется воздействием ледников и выражается в отсутствии литоральных макрофитов, а нижняя – степенью прозрачности воды. Ближе к урезу воды на глубинах, не подверженных воздействию сползающих в море ледников, произрастает *Saccharina latissima*, глубже – *Laminaria digitata*, еще глубже – *Alaria esculenta*, а на глубинах свыше 20 м – красная водоросль *Phycodrys rubens*.

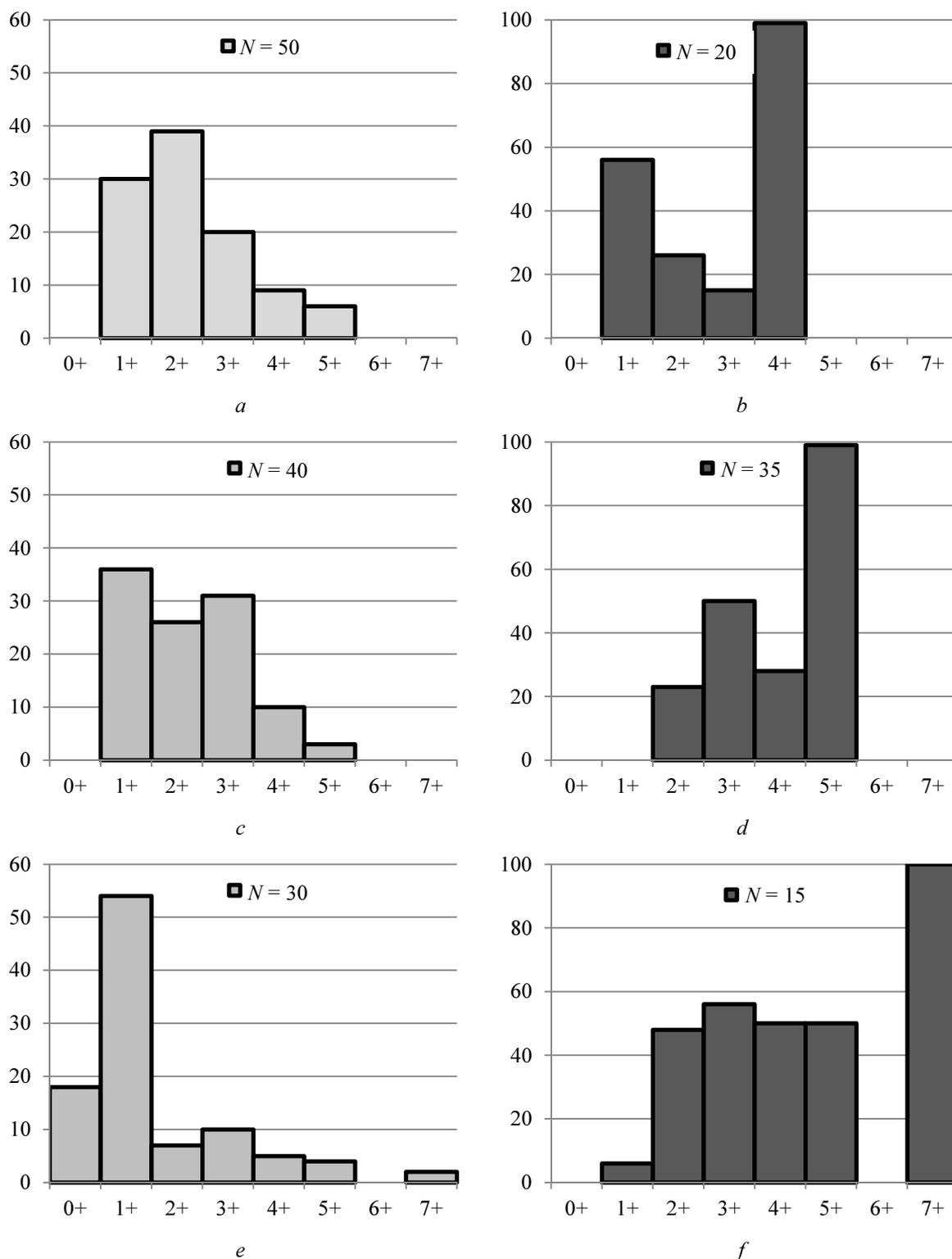


Рис. 1. Возрастная структура популяций ламинариевых водорослей в фитоценозах Земли Франца-Иосифа (a, c, e) и число фертильных растений (b, d, f): по оси абсцисс – возраст растений (в годах); по оси ординат – количество растений (в процентах); a, b – *Saccharina latissima*; c, d – *Laminaria digitata*; e, f – *Alaria esculenta*

Fig. 1. Age structure of laminar algae populations in phytocenoses of Franz Josef Land (a, c, e) and the number of fertile plants (b, d, f): along the abscissa – the age of plants (in years); on the ordinate axis – the number of plants (in percent); a, b – *Saccharina latissima*; c, d – *Laminaria digitata*; e, f – *Alaria esculenta*

Конкуренция за твердый субстрат обуславливает ярусное распределение водорослей и в донных сообществах sublitorали (рис. 2). Верхний ярус образуют крупные бурые водоросли *A. esculenta*, *L. digitata* и *S. latissima*, которые обычно доминируют в сообществе. На слоевищах этих водорослей обитают микроскопические формы водорослей-эпифитов: бурых *Elachista fucicola*, *Phaeostroma pustulosum*, *Dermatocelis laminariae* и зеленых *Artrochaete penetrans*, *Ulothrix flacca*. В среднем ярусе развивается *Devaleria ramentacea* с рядом микроскопических по размеру эпифитов; также наиболее часто встречаются бурые водоросли *Sphacelaria arctica*, *Pilayella littoralis*, зеленые *Acrosiphonia incurva*, *Chaetomorpha melanogonium* и красная *Polysiphonia arctica*. Нижний ярус занимают типичные литофильные водоросли с корковыми, пластинчатыми и стелющимися слоевищами. Некоторые из микроскопических форм становятся эндофитами, внедряясь в рыхлое слоевище водоросли-базифита: *Phaeostroma endophyticum*, *Chlorochytrium inclusum*, *Halosaccocolax kjellmanii*. Кроме того, осенью слоевища бурых водорослей обрастают диатомеями, биомасса которых может составлять до 30 % от массы фитоценоза [4]. При этом процесс обрастания слоевищ макроводорослей диатомовыми эпифитами идет поэтапно: после образования бактериальной пленки на талломах поселяются одноклеточные подвижные формы диатомей рода *Navicula*, затем в обрастаниях обнаруживаются неподвижные и колониальные диатомовые водоросли родов *Cocconeis*, *Achnanthes*, *Licmophora* и *Synedra* [15]. Конкуренция за каменистый субстрат проявляется у водорослей, близких в таксономическом отношении. Так, в фитоценозах о. Гуккера зеленая водоросль *Acrosiphonia incurva* обитает на верхушках валунов, в то время как *A. flagellata* поселяется на боковых стенках этих же валунов [16].

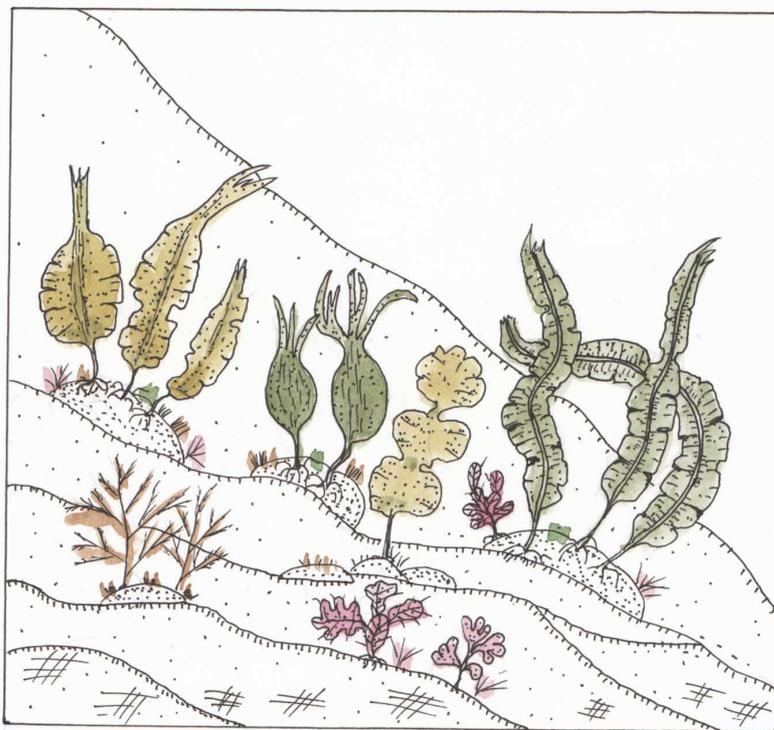


Рис. 2. Фитоценоз ламинариевых водорослей в прибрежных водах архипелага Земля Франца-Иосифа. Верхний ярус: 1 – *Saccharina latissima*; 2 – *Laminaria digitata*; 3 – *Laminaria solidungula*; 4 – *Alaria esculenta*; 5 – *Desmarestia aculeata*. Средний ярус: 6 – *Devaleria ramentacea*; 7 – *Acrosiphonia* sp.; 8 – *Sphacelaria arctica*; 9 – *Phycodrya rubens*; 10 – *Phyllophora truncata*; 11 – *Polysiphonia arctica*

Fig. 2. Phytocenosis of laminar algae in the coastal waters of the Franz Josef Land archipelago. The upper level: 1 – *Saccharina latissima*; 2 – *Laminaria digitata*; 3 – *Laminaria solidungula*; 4 – *Alaria esculenta*; 5 – *Desmarestia aculeata*. The middle level: 6 – *Devaleria ramentacea*; 7 – *Acrosiphonia* sp.; 8 – *Sphacelaria arctica*; 9 – *Phycodrya rubens*; 10 – *Phyllophora truncata*; 11 – *Polysiphonia arctica*

В арктических сообществах морфологические признаки многих видов водорослей существенно отличаются от широко распространенных форм, произрастающих в водах бореальной зоны [5; 7]. В экстремальных условиях обитания в популяциях водорослей преобладают формы с измененной морфологией слоевища, которые характеризуются высоким соотношением площади таллома к его массе, что обеспечивает определенным видам возможность получать, занимая свою экологическую нишу, конкурентные преимущества среди партнеров по бентосному сообществу. Морфологические изменения слоевищ водорослей арктической зоны происходят по двум основным направлениям и представляют

собой пример адаптации к низкому годовому уровню солнечной радиации за счет относительно высокой площади активной поверхности таллома. У крупных ламинариевых водорослей увеличивается ширина пластины при сохранении или незначительном изменении длины. Поэтому отношение ширины к длине пластины у арктических форм выше по сравнению с видами водорослей, обитающих в бореальной зоне моря. Так, для *Saccharina latissima* из фитоценоза Земли Франца-Иосифа характерна укороченная толстая пластина с плотной гладкой центральной частью и тонкими волнистыми прозрачными краями [5]. Другой путь характерен для некрупных форм красных, бурых и зеленых водорослей и выражается в образовании тонких нитевидных и рассеченных талломов, которые обеспечивают им не только возможность занимать разные субстраты, включая слоевища более крупных партнеров по бентосному сообществу, но и в результате формирования большой поверхности слоевища значительно увеличивать метаболическую активность.

Кроме того, переход на эпифитный и эндофитный жизненный тип в биотическом сообществе позволяет водорослям не только избежать конкуренции за субстрат, но и эффективно использовать в качестве питательных веществ метаболиты базифитов в условиях дефицита солнечной радиации. Например, в сублиторальном фитоценозе о. Хейса архипелага Земли Франца-Иосифа 50 % водорослей являются эпифитами, эндофитами [4].

При проведении биологического мониторинга с целью прогноза состояния арктических экосистем необходимы исследования видового состава, возрастной и генеративной структуры, а также изучение жизненных циклов водорослей, которые определяют облик бентосного сообщества. Это особенно важно при изменении климата под действием природных и антропогенных факторов. С ростом температуры воздуха и воды таяние льда в арктической зоне моря может происходить с относительно высокой скоростью. Как предсказывают полученные модели, к 2050 г. температура на нашей планете может повыситься на 2,5 °C и на 4,5 °C к концу столетия по сравнению со средней температурой воздуха. К этому времени арктическая зона моря практически освободится ото льда [17; 18]. Такое повышение температуры не оказывает непосредственного действия на бентосные водоросли, которые адаптированы к резким перепадам температур в литоральной зоне Баренцева моря. Более важным для популяций бентосных водорослей является то, что с ростом температуры воздуха и воды происходит освобождение акватории ото льда, увеличение мутности воды за счет терригенного стока, увеличение эрозии и взмучивания донных осадков во время штормов, а также частичное распреснение поверхностных вод. В итоге рост температуры и последующие изменения абиотической компоненты арктической экосистемы приведут к изменению видового состава и структуры биоценозов. При этом возникнут новые биотические взаимоотношения между местными видами и новыми вселенцами, которые могут привести к непредсказуемому видовому составу фитоценоза.

Заключение

Арктические фитобентосные сообщества Баренцева моря, занимающие определенный биотоп, как правило, отличаются от другого биотопа по видовому составу, численности и биомассе популяций водорослей. Поэтому фитоценозы могут служить биологическими мониторами состояния бентосного сообщества. Использование растительного сообщества в качестве биомониторов позволяет получать информацию о влиянии экологических и антропогенных факторов на отдельные популяции водорослей, так и на фитоценоз в целом, поскольку в его составе имеются виды с разной экологической устойчивостью. В результате исследователь получает интегральную картину состояния прибрежной экосистемы, что особенно важно при оценке и прогнозировании последствий дискретного загрязнения морских экосистем. Арктические водорослевые сообщества, претерпевающие периодические возмущения, как правило, характеризуются относительно высоким видовым разнообразием с нечетко выраженным доминированием определенного вида и практически с отсутствием конкурентного исключения. Вместе с тем схожесть видового состава макроводорослей арктической зоны, в которых доминируют высокобореально-арктические и широкобореально-арктические виды с таковыми, обитающими в бореальной зоне моря, включая мурманское побережье, при высоком коэффициенте флористического сходства позволяет сделать заключение, что возможное потепление приведет к формированию в арктических районах характерных для южных районов Баренцева моря донных растительных сообществ.

Библиографический список

1. Голиков В. Н., Аверинцев В. Г. Биоценозы верхних отделов шельфа архипелага Земля Франца-Иосифа // Исследования фауны морей. 1977. Вып. 14 (22). С. 5–54.
2. Терехова Т. К. Водоросли архипелага Земля Франца-Иосифа // Новости систематики низших растений. 1973. Т. 10. С. 68–70.
3. Виноградова К. Л. Некоторые особенности флоры бентосных водорослей архипелага Земля Франца-Иосифа // Ботанический журнал. 1987. № 9. С. 1203–1206.

4. Аверинцев В. Г., Виноградова К. Л. Фитоценоз *Halosaccion arcticum* – *Sphacelaria arctica* на мелководье острова Хейса (Земля Франца-Иосифа) // Биология моря. 1990. № 3. С. 3–8.
5. Шошина Е. В., Макаров В. Н., Макаров М. В. Особенности биологии ламинариевых водорослей Земли Франца-Иосифа // Биология моря. 1997. Т. 23, № 5. С. 286–292.
6. Малавенда С. В., Шошина Е. В., Капков В. И. Видовое разнообразие макроводорослей в различных районах Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 2. С. 336–351. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-336-351.
7. Шошина Е. В., Капков В. И., Беленикина О. А. Экологические факторы, регулирующие рост макроводорослей в сообществах арктических морей // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/2. С. 334–344. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-334-344.
8. Кузнецов Л. Л., Шошина Е. В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты : КНЦ РАН, 2003. 308 с.
9. Шошина Е. В., Капков В. И. Экологические особенности промысловых фукусовых водорослей мурманского побережья Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 180–189.
10. Флеров Б. К. Водоросли побережий Новой Земли. Распределение водорослей у берегов Новой Земли // Труды ГОИН. 1932. Т. 2, Вып. 1. С. 7–45.
11. Сорочкин А. Л., Пельтихина Т. С. Ламинариевые водоросли Баренцева моря. Мурманск : ПИНРО, 1991. 187 с.
12. Штрик В. А., Возжинская В. Б., Вехов Н. В. Морские водоросли побережья Новой Земли и пролива Югорский Шар // Морские гидробиологические исследования = Marine Hydrobiological Researches. М. : ВНИРО, 2000. С. 88–98.
13. Макаров М. В., Воскобойников Г. М. Влияние освещения и температуры на макроводоросли Баренцева моря // Труды КНЦ РАН. 2013. Т. 1 (14). С. 95–111.
14. Виноградова К. Л., Шошина Е. В. Водоросли // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты : КНЦ РАН, 1994. С. 100–106.
15. Капков В. И., Шошина Е. В., Беленикина О. А. Биоремедиация морских прибрежных экосистем: использование искусственных рифов // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 286–295. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-286-295.
16. Аверинцева С. Г. Фитоценозы о. Гукера // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты : КНЦ РАН, 1994. С. 106–108.
17. McBean G., Alekseev G., Chen D., Forland E., Fyfe J. [et al.]. Arctic climate: Past and Present // ACIA. Arctic climate impact assessment. NY : Cambridge University Press, 2004. P. 22–55.
18. Comiso J. C. Abrupt decline in the Arctic winter sea ice cover // Geophysical Research Letters. 2006. V. 33, Iss. 18, L1850. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL027341>.

References

1. Golikov V. N., Averintsev V. G. Biotsenozy verhnih otdelov shelfa arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Biocenoses of the upper regions of the shelf of the archipelago Franz Josef Land] // Issledovaniya fauny morey. 1977. Vyp. 14 (22). P. 5–54.
2. Terehova T. K. Vodorosli arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Algae of the archipelago Franz Josef Land] // Novosti sistematiki nizshih rasteniy. 1973. V. 10. P. 68–70.
3. Vinogradova K. L. Nekotorye osobennosti flory bentosnyh vodorosley arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Some peculiarities of the benthic algae flora of the archipelago Franz Josef Land] // Botanicheskiy zhurnal. 1987. N 9. P. 1203–1206.
4. Averintsev V. G., Vinogradova K. L. Fitotsenoz *Halosaccion arcticum* – *Sphacelaria arctica* na melkovode ostrova Heysa (Zemlya Frantsa-Iosifa) [*Halosaccion arcticum* – *Sphacelaria arctica* phytocenosis the shallow waters of the Heiss Island (Franz Josef Land)] // Biologiya morya. 1990. N 3. P. 3–8.
5. Shoshina E. V., Makarov V. N., Makarov M. V. Osobennosti biologii laminariyevykh vodorosley Zemli Frantsa-Iosifa [Biological characteristics of *Laminaria* of Franz Josef Land] // Biologiya morya. 1997. V. 23, N 5. P. 286–292.
6. Malavenda S. V., Shoshina E. V., Kapkov V. I. Vidovoe raznoobrazie makrovodorosley v razlichnykh rayonah Barentseva morya [Species diversity of seaweeds in different areas of the Barents Sea] // Vestnik MGTU. 2017. V. 20, N 2. P. 336–351. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-336-351.
7. Shoshina E. V., Kapkov V. I., Belenikina O. A. Ekologicheskie faktory, reguliruyuschie rost makrovodorosley v soobshchestvakh arkticheskikh morey [Ecological factors regulating growth of seaweeds in Arctic communities] // Vestnik MGTU. 2016. V. 19. N 1/2. P. 334–344. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-334-344.
8. Kuznetsov L. L., Shoshina E. V. Fitotsenozy Barentseva morya (fiziologicheskie i strukturnye harakteristiki) [Phytocenoses of the Barents Sea (physiological and structural characteristics)]. Apatity : KNTs RAN, 2003. 308 p.

9. Shoshina E. V., Kapkov V. I. *Ekologicheskie osobennosti promyslovykh fukusovykh vodorosley murmanskogo poberezhya Barentseva morya* [Ecological features of harvesting fucoid algae of the Murman coast of the Barents Sea] // *Vestnik MGTU*. 2014. V. 17, N 1. P. 180–189.
10. Flerov B. K. *Vodorosli poberezhnyy Novoy Zemli. Raspredelenie vodorosley u beregov Novoy Zemli* [Algae of the coasts of Novaya Zemlja. Distribution of algae off the coast of Novaya Zemlya] // *Trudy GOIN*. 1932. V. 2, Vyp. 1. P. 7–45.
11. Sorokin A. L., Peltihina T. S. *Laminariyevye vodorosli Barentseva moray* [Laminarian algae of the Barents Sea]. Murmansk : PINRO, 1991. 187 p.
12. Shtrik V. A., Vozzhinskaya V. B., Vehov N. V. *Morskie vodorosli poberezhya Novoy Zemli i proliva Yugorskiy Shar* [Marine algae of the coast of Novaya Zemlya and Yugorskiy Shar Strait] // *Morskie gidrobiologicheskie issledovaniya = Marine Hydrobiological Researches*. M. : VNIRO, 2000. P. 88–98.
13. Makarov M. V., Voskoboynikov G. M. *Vliyanie osvescheniya i temperatury na makrovodorosli Barentseva morya* [Influence of light and temperature on the Barents Sea seaweeds] // *Trudy KNTs RAN*. 2013. V. 1 (14). P. 95–111.
14. Vinogradova K. L., Shoshina E. V. *Vodorosli* [Algae] // *Sreda obitaniya i ekosistemy Zemli Frantsa-Iosifa (arhipelag i shelf). Apatity* : KNTs RAN, 1994. P. 100–106.
15. Kapkov V. I., Shoshina E. V., Belenikina O. A. *Bioremediatsiya morskikh pribrezhnykh ekosistem: ispolzovanie iskusstvennykh rifov* [Bioremediation of marine coastal ecosystems: using artificial reefs] // *Vestnik MGTU*. 2016. V. 19, N 1/2. P. 286–295. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-286-295.
16. Averintseva S. G. *Fitotsenozyi o. Gukera* [Phytocenoses of Hooker Island] // *Sreda obitaniya i ekosistemy Zemli Frantsa-Iosifa (arhipelag i shelf). Apatity* : KNTs RAN, 1994. P. 106–108.
17. McBean G., Alekseev G., Chen D., Forland E., Fyfe J. [et al.]. *Arctic climate: Past and Present* // *ACIA. Arctic climate impact assessment*. NY : Cambridge University Press, 2004. P. 22–55.
18. Comiso J. C. *Abrupt decline in the Arctic winter sea ice cover* // *Geophysical Research Letters*. 2006. V. 33, Iss. 18, L1850. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL027341>.

Сведения об авторах

Капков Валентин Иванович – Ленинские горы, 1, стр. 12, г. Москва, Россия, 119991; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, д-р биол. наук, профессор; e-mail: chelena45@mail.ru

Капков V. I. – 1/12, Leninskiye Gory, Moscow, Russia, 119991; M. V. Lomonosov Moscow State University, Dr of Biol. Sci., Professor; e-mail: chelena45@mail.ru

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

Shoshina E. V. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Dr of Biol. Sci., Professor; e-mail: shoshinaev@mstu.edu.ru

V. I. Kapkov, E. V. Shoshina

Phytobenthic communities of the Barents Sea Arctic zone and climate change

The study of species structure of benthic seaweeds populations in plant communities of the coastal Arctic zone of Arctic archipelagoes of the Barents Sea on the basis of expeditionary works' materials has been carried out. The use of benthic phytocoenoses occupying a certain biotope with characteristics of ground features, currents, ice conditions while assessing the ecological state of marine coastal Arctic ecosystems has been substantiated. The species composition of phytocoenoses of open and ice-covered areas of the sea is different. It has been established that in extreme Arctic conditions the open areas are characterized by relatively high species diversity. On the contrary at ice-covered areas the reduction of species diversity, the belt distribution of algae and simplification of the community structure as a result of reducing the links between algal populations take place. Algae in such communities are related to each other and to other benthic organisms by topical, trophic and mediative connections. The use of plant communities, rather than individual species of algae as biological indicators and monitors, allows obtaining more complete information about the ecological state of coastal biocoenoses and the ecosystem as a whole. The results of the study can also be used in forecasting the state of the biotic community under climate change in the Arctic zone of the Barents Sea. The similarity of the species composition of the phytocoenoses of the Arctic zone with those living in the boreal zone of the sea, including the Murmansk coast, with a high coefficient of floristic similarity, allows us to conclude that a possible warming will lead to formation of benthic plant communities with characteristics typical for the southern regions of the Barents Sea.

Key words: phytobenthic communities, biological monitoring, Arctic marine coastal ecosystems, climate change.