

УДК 582.272(265.52)

А.Н. Кашутин, В.А. Андреев, А.В. Климова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Kashutin-an@yandex.ru*

СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *FUCUS EVANESCENS* В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ

Приводятся данные по сезонному развитию разновозрастных представителей бурой водоросли *Fucus evanescens* в двух районах Авачинской губы, разных по уровню загрязнения, гидрохимическому и гидрологическому режимам. Показано, что рост кустиков фукуса продолжается в течение всего вегетационного периода с мая по ноябрь. При этом самый активный рост наблюдается в самые теплые месяцы года. С наибольшей интенсивностью растут растения, имеющие 1–2 дихотомии. После формирования второй дихотомии скорость линейного роста растений заметно снижается. После формирования третьей дихотомии она несколько увеличивается, но не достигает начальной.

Ключевые слова: *Fucus evanescens*, линейный прирост, сезонное развитие, Авачинская губа.

A.N. Kashutin, V.A. Andreev, A.V. Klimova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Kashutin-an@yandex.ru*

SEASONAL DEVELOPMENT OF BROWN ALGAE *FUCUS EVANESCENS* IN THE AVACHA BAY (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA)

Data on seasonal development of uneven-aged representatives of brown alga *Fucus evanescens* in two areas of the Avacha Bay which are different in a pollution level, hydrochemical and hydrological regimes are provided. It is shown that growth of fucus continues during all vegetative period from May to November. At the same time the most active growth is observed in the warmest months of the year. Plants having 1–2 dichotomies grow with the greatest intensity. After the formation of the second dichotomy the linear growth rate of plants considerably decreases. After the formation of the third dichotomy it increases a little, but doesn't reach initial.

Key words: *Fucus evanescens*, linear growth, seasonal development, Avacha Bay.

К настоящему времени общие направления изменений видового состава и структуры макрофитобентоса под воздействием негативных факторов для умеренных районов Мирового океана в целом уже известны. В районах с ненарушенной природной средой наблюдаемые в последние десятилетия изменения климата выражаются в сдвиге природного равновесия между количественным соотношением ламинариевых и кораллиновых водорослей, а также ламинариевых и фукусовых. В районах с нарушенной природной средой, подвергающихся антропогенному загрязнению, доминантами сообществ по мере исчезновения многолетних видов красных и бурых водорослей становятся виды-оппортунисты с короткими жизненными циклами и высоким репродуктивным потенциалом или же виды, обладающие высокой устойчивостью к постоянному негативному воздействию.

Состояние морских прибрежных вод требует постоянного контроля, и для оценки качества морской среды не всегда пригодны гидрохимические показатели. Более адекватно об экологической ситуации в районе можно судить по состоянию организмов, населяющих водоем. При этом бентосные организмы по ряду причин отражают ее лучше, чем другие, а среди них наилучшим образом состояние среды отражают водоросли-макрофиты [1]. Они дают основную первичную продукцию, формируют пространственную структуру донных сообществ. Потребляя растворенную органику и выделяя в окружающую среду экзометаболиты, они утилизируют органику

и подавляют развитие патогенной микрофлоры. Благодаря тому, что водоросли всем слоевищем контактируют с водной средой, они испытывают ее непосредственное, а иногда негативное влияние и в ответ на него изменяют стратегию роста и развития. Эти изменения происходят на морфофункциональном уровне и выражаются прежде всего в уменьшении размерно-массовых показателей, появлении аномалий развития на клеточном и тканевом уровнях. Наиболее полно в этом отношении изучен род *Fucus*. У разных его видов в разных районах Мирового океана ответные реакции, несмотря на общие закономерности, имеют свою специфику [1–4].

У побережья Камчатки наибольшему антропогенному прессу подвержена Авачинская губа. Антропогенная деструкция макрофитобентоса здесь началась еще в прошлом веке, и изменения, произошедшие в результате ее к концу прошлого века, были подвергнуты специальному изучению [5, 6].

Большинство альгологических исследований у берегов юго-восточной Камчатки, проведенных после выхода в свет монографии Н.Г. Клочковой и В.А. Березовской [5], так или иначе затрагивают влияние природных и антропогенных факторов на водоросли Авачинской губы. В основном они посвящены биологии развития и влиянию антропогенного загрязнения на отдельные виды ламинариевых и фукусовых водорослей.

Материалом для настоящей работы послужили полевые наблюдения и сборы проб фукусовых водорослей, проведенные с мая по ноябрь 2016 г. в разных районах Авачинской губы. Материал собирали в разных местах ее восточного побережья: участок берега, прилегающий к судоремонтному заводу (СРМЗ) в бух. Сероглазка и кутовой части бух. Завойко (рис. 1). Они характеризуются разным уровнем загрязнения и разными особенностями гидрологического режима.

Для изучения биологии развития бурой водоросли *Fucus evanescens* в каждом из указанных выше мест через каждые 10–14 дней отбирали количественные пробы. В ходе камеральной обработки материала собранную пробу разделяли на разноразмерные группы, ориентируясь на количество дихотомических ветвлений. Количество дихотомий у самых взрослых слоевищ в Авачинской губе может доходить до 7–9. У изученных нами растений оно не превышало трех. Количество дихотомических разветвлений, наличие или отсутствие более или менее глубоких выемок на верхушках слоевищ позволяет разделить пробу фукуса на три размерные группы: I – растения, имеющие одну дихотомию, верхушки ветвей без выемки (1) или с выемкой (1+); II – растения, имеющие две дихотомии и верхушки ветвей без выемки (2) или с выемкой (2+); III – растения, имеющие две дихотомии и верхушки ветвей без выемки (2) или с выемкой (2+). Далее у представителей каждой группы измеряли высоту и сравнивали темпы месячного прироста в каждом из районов побережья.

Для оценки совокупного влияния на водоросли и их сообщества факторов среды определяли гидрологические и гидрохимические показатели прибрежных вод. Для этого был использован портативный профилограф параметров среды RINKO-AAQ171 (JFE Advantech Co, Япония).

В связи с тем, что в районах с высокой экологической нагрузкой у водорослей значительно изменяются сроки жизни и стратегия возрастного развития, судить по морфологии растений об их возрасте достаточно сложно. В период проведения исследования авторы наблюдали явление, когда у фукуса формировалась не одно, как на это указывала ранее В.Б. Чмыхалова [2], а два или даже три дихотомических разветвления. Исходя из этого пробы фукуса делили не по возрастным, а по размерным группам, не по абсолютной длине слоевища, а по количеству разветвлений. При обработке ювенилов для изучения брались только растения с одной отчетливо оформленной дихотомией. В местах отбора проб одновременно со сбором растений определяли некоторые гидрологические и гидрохимические показатели. Для бух. Сероглазка данные этих исследований приведены в табл. 1.



Рис. 1. Карта-схема отбора проб массовых представителей макрофитобентоса:
1 – бух. Сероглазка, 2 – бух. Завойко

Гидрологические показатели морской воды в районе отбора проб *Fucus evanescens* у судоремонтного завода

Параметры среды	Период, месяц				
	июнь	июль	август	сентябрь	ноябрь
Температура, °С	15,14	16	15,57	13,64	3,32
Соленость, ‰	21,84	11,39	13,18	23,31	30,41
Содержание кислорода, мг/л	8,05	7,94	9,1	6,22	10,06
Мутность, ЕМФ	126,71	177,67	310,4	11,35	76,6

Данное место активно промывается приливными водами и широко открыто волновому воздействию. Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что весь летний период температура воды здесь достаточно хорошо прогревалась и во время отлива в сублиторальной кайме достигала 15–16°С. Соленость прибрежной воды с мая по сентябрь менялась в широких пределах, особенно сильное распреснение наблюдалось во второй половине лета и начале осени. Благодаря наличию широкого пляжа мутность здесь не столь велика. Ее особенно большие значения пришлось на август, на период выпадения большого количества осадков, которые поступили в прибрежье вместе с терригенным стоком. Чтобы оценить рост растений в каждом из районов исследования, для каждой размерной группы растений на основании данных ежемесячных измерений абсолютной длины слоевищ был рассчитан месячный прирост. Данные, полученные в ходе этих расчетов, представлены на рис. 2.

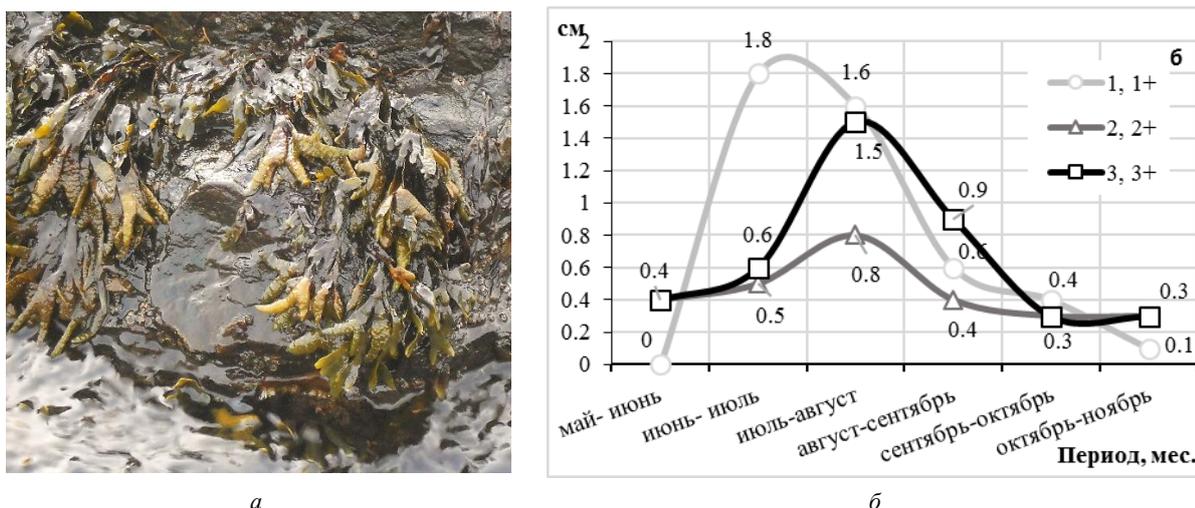


Рис. 2. Место отбора проб (а) и помесячный прирост разноразмерных растений *Fucus evanescens* в прибрежной зоне СРМЗ бух. Сероглазка (б)

Рост фукусов в этом районе, как это видно из представленного рис. 2, б, у разных возрастных групп протекает по-разному. Возрастная группа растений 1, 1+, появившаяся в конце весны 2016 г., активно росла в период с мая по июль, к августу скорость их прироста резко снизилась, а в сентябре он приостановился. Растения второй и третьей возрастных групп активно росли с июля по август, однако прирост у самых крупных растений был намного меньше. В это время у них наблюдалось увеличение массы и созревание рецептакулов.

Район взятия проб в бух. Завойко подвержен меньшему антропогенному загрязнению, хотя и омывается во время отлива водами, поступающими из загрязненной бух. Раковая. Именно этим обстоятельством, по-видимому, можно объяснить высокий прогрев вод этого района в сентябре (табл. 2). Помесячные изменения солености воды, как того и следовало ожидать, здесь имеют значения, близкие к таковым в районе СРМЗ и бух. Сероглазка. Это лишний раз свидетельствует о том, что они в наибольшей степени зависят от общей гидрометеорологической ситуации и количества осадков, выпавших над Авачинской губой.

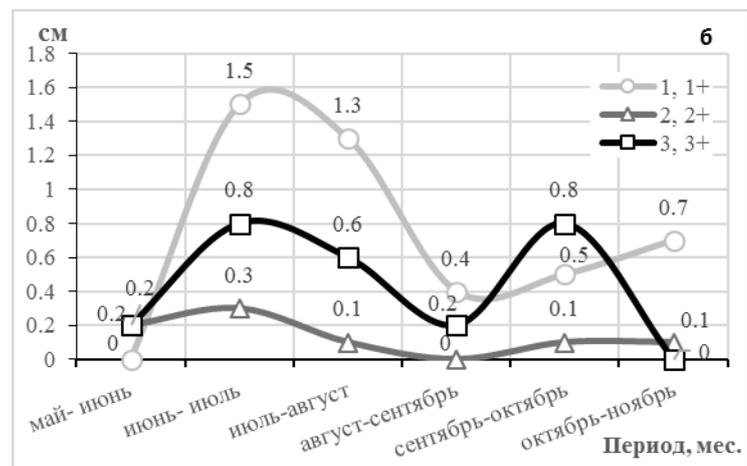
Гидрологические показатели морской воды в районе отбора проб *Fucus evanescens* в бухте Завойко

Параметры среды	Период, месяц				
	июнь	июль	август	сентябрь	ноябрь
Температура, °С	12,76	11,58	17,03	13,76	3,09
Соленость, ‰	20,07	15,81	12,22	24,03	30,80
Содержание кислорода, мг/л	10,86	8,78	9,26	9,18	11,13
Мутность, ЕМФ	69,82	48,06	69,27	161,17	18,88

Сравнение других гидрологических и гидрохимических показателей прибрежных вод района исследования с аналогичными данными, полученными для первого района, показывает, что у п-ова Завойко сочетание экологических факторов, определяющих рост и развитие водорослей и в частности фукуса, при соблюдении общих сезонных закономерностей имело неповторимое своеобразие. Это видно из представленного ниже рис. 3.



а



б

Рис. 3. Место отбора проб (а) и ежемесячный прирост разновозрастных растений *Fucus evanescens* в прибрежной зоне бух. Завойко (б)

Так, в частности, на графике рис. 3, б показано, что растения третьей возрастной группы (3, 3+) имели два пика роста: с июня по июль и с сентября по октябрь. В наиболее теплое время года, в августе темпы их роста заметно снизились. Заметное снижение скорости роста в это время наблюдалось также и у представителей других возрастных групп фукуса.

Для выяснения особенностей роста фукуса в разных районах исследования сравнивались абсолютные размерные показатели у представителей разных размерных групп и их ежемесячные изменения. Эти данные представлены на рис. 4. В целом следует отметить, что в разных районах исследования динамика ростовых процессов фукуса оказалась весьма схожей. Так, для первой размерной группы (1, 1+) характерен интенсивный прирост слоевищ в течение всего лета. Он составил 1,3–1,5 см в месяц у растений из бух. Завойко и 1,6–1,8 см/мес. для растений из района СРМЗ (бух. Сероглазка). В осеннее время ростовые процессы у ювенилов значительно снизились в среднем 2,6 раза в бух. Завойко и в 5,6 раза у СРМЗ (рис. 4, а). Для второй и третьей размерных групп фукуса из обоих районов исследования в течение всего вегетационного периода прослеживается менее активный прирост, чем для ювенилов. Следует отметить, что растения в бух. Завойко в этих группах в среднем больше на 0,9 см, чем в соответствующих группах фукуса из СРМЗ. В теплое время года несколько интенсивней увеличиваются линейные размеры слоевищ фукуса у растений из бух. Завойко по сравнению с таковыми из СРМЗ, ситуация меняется на диаметрально противоположную с конца лета. За весь период наблюдения абсолютный прирост слоевищ составил для II размерной группы – 0,9 см у мористой части бух. Завойко и 1,7 см в прибрежной акватории СРМЗ, для III размерной группы – 2,6 см и 4 см, соответственно (рис. 4, б, в).

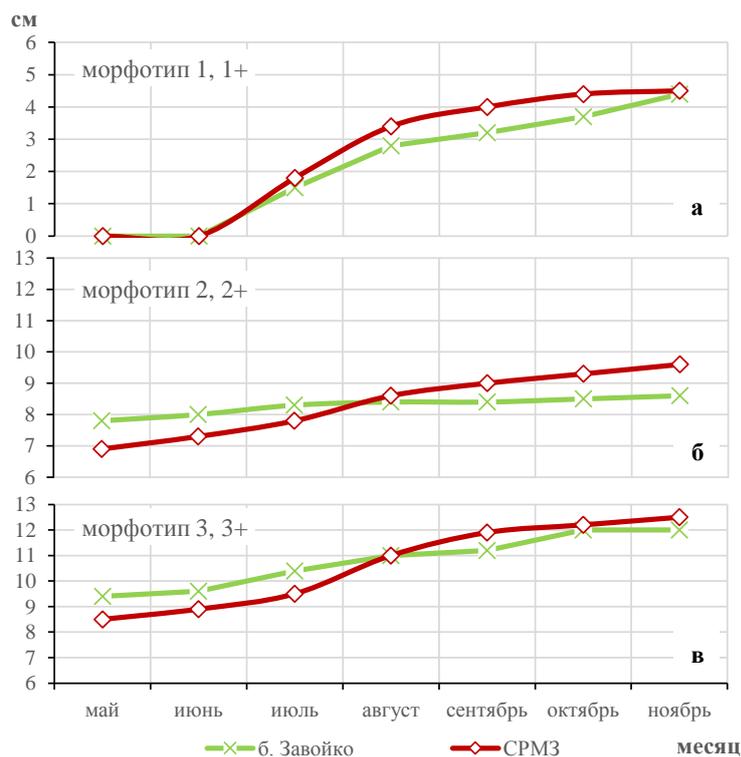


Рис. 4. Абсолютный прирост длины слоевищ (см) 1, 1+ (а), 2, 2+ (б) и 3, 3+ (в) – размерных групп *Fucus evanesceus* в разных районах Авачинской губы

Изучение роста и развития фукуса в природной среде в разных участках района исследования свидетельствует о том, что сочетание гидрологических и гидрохимических показателей прибрежных вод, а также экологических факторов, определяют неповторимое своеобразие особенности биологии развития и ростовых процессов у этого вида.

Литература

1. Воскобойников Г.М. Технология плантационного выращивания макрофитов в Баренцевом море: многофункциональная направленность // Инновационный потенциал Кольской науки. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 284–288.
2. Чмыхалова В.Б. Развитие бурой водоросли *Fucus evanesceus* Ag. в прикамчатских водах // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2005. – 25 с.
3. 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.
4. 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.
5. Ключкова Н.Г., Березовская В.А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 205 с.
6. Березовская В.А. Макрофитобентос как показатель состояния среды в прибрежных водах Камчатки: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – Владивосток, 2002. – 49 с.