

УДК 582.272.7

А.В. Климова, А.Н. Кашутин

**РАННЕЕ РАЗВИТИЕ КАМЧАТСКИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ *FUCUS EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES) В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ**

Приведены некоторые сведения по развитию проростков камчатской бурой водоросли *Fucus evanescens* в искусственной морской среде. Маточные образцы для их получения были собраны в бухте Сероглазка (Авачинская губа). Наблюдение за развитием фукуса в культурах продолжалось в течение четырех месяцев. В результате наблюдений выявлено, что дифференциация его молодых проростков на многоклеточную пластину и органы прикрепления, состоящие из разветвленных ризоидальных выростов, отмечалась на 27-й день после появления зигот. На четвертый месяц культивирования исследуемые растения достигали 1,0–1,2 мм длины.

**Ключевые слова:** бурые водоросли, Fucales, *Fucus evanescens*, лабораторное культивирование, прорастание зиготы, развитие проростков, юго-восточная Камчатка.

A.V. Klimova, A.N. Kashutin

**EARLY DEVELOPMENT OF THE BROWN ALGA *FUCUS EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES) FROM SOUTHEAST KAMCHATKA UNDER LABORATORY-CONTROLLED CONDITIONS**

Early stages of development under laboratory-controlled conditions were investigated in the brown alga *Fucus evanescens* from Kamchatka. Reproductive thalli with mature conceptacles were collected on October 5, 2015 from the Seroglazka Bay (Avacha Bay). We observed development of *F. evanescens* in the laboratory cultures for 4 months. Differentiation of juvenile sporophytes into blade and holdfast occurred after 26 days of cultivation. By the end of January 2016 young algae in the laboratory reached 1.0–1.2 mm at length.

**Key words:** brown alga, Fucales, *Fucus evanescens*, laboratory cultivation, germination of zygote, development of germlings, southeast Kamchatka.

DOI: 10.17217/2079-0333-2016-37-50-56

Буря фукусовая водоросль *Fucus evanescens* С. Agardh (фукус исчезающий) является одним из наиболее массовых видов во флоре морских водорослей-макрофитов Камчатки. Образует сплошное покрытие в мелководной зоне шельфа, она является важнейшим структурным элементом литоральных альгоценозов не только Камчатки, но и практически всех холодоумеренных вод Северного полушария [1–3]. Данный вид характеризуется высокой плотностью поселений и значительной биомассой – до 630 экз./м<sup>2</sup> и 25 кг/м<sup>2</sup>, соответственно. Он является объектом промысла, его запасы в дальневосточных морях составляют не менее 500–700 тыс. тонн [4]. Особая ценность этого вида водорослей определяется высоким содержанием у него сульфатированных полисахаридов – фукоиданов, обладающих антиинфекционными, иммуномодулирующими, противоопухолевыми свойствами и другими важными с точки зрения практического использования эффектами [5].

Исследования фукусовых водорослей Баренцева моря выявили их высокую устойчивость к химическому загрязнению среды [6] и способность очищать морскую воду от нефтепродуктов. Знания особенностей их развития в загрязненной среде на разных уровнях организации: популяционном, организменном, клеточном и субклеточном – позволили разработать биотехнику их выращивания на плантациях-биофильтрах в акваториях, загрязненных нефтепродуктами [7, 8].

Важно отметить, что в альгологических исследованиях представители порядка Fucales всегда занимали особое место. Не угасает интерес к их изучению и в настоящее время. Он обусловлен разными причинами, в том числе тем, что представители этой группы имеют необычный для других водорослей-макрофитов моногенетический жизненный цикл, в котором отсутствует самостоятельно живущее гаплоидное поколение. Ю.Е. Петров [9], а вслед за ним и другие русские

альгологи считают, что фукусовым свойственна крайне редуцированная диплоидная гаметофитная стадия. Развитие гаметофита начинается на материнском растении от крупной диплоидной клетки, которая возникает как ответвление апикальной клетки, обеспечивающей верхушечный рост ветвей. Поскольку последующее деление таких клеток приводит к появлению слоя клеток, выстилающих внутреннюю поверхность концептакулов, или так называемых скафидиев, на которых в последующем формируются женские и мужские органы размножения [10, 11]. Ю.Е. Петров считал эти клетки аналогами спор и обозначил их как проспоры. Гаплоидными клетками у фукусовых водорослей являются только крупные неподвижные яйцеклетки и мелкие, активно передвигающиеся сперматозоиды. Оогамный половой процесс обеспечивает появление у них крупных зигот, удобных для наблюдений за эмбриональным развитием водорослей-макрофитов.

Изучению внутриклеточной дифференциации зигот, ее первым делениям и поляризации молодых проростков фукусовых водорослей посвящено достаточно много исследований [12–18]. В них детально описаны процессы оплодотворения, внутриклеточных преобразований, обеспечивающих первое митотическое деление и последующую морфологическую и функциональную дифференциацию появившихся при этом клеток. В ряде других работ отдельное внимание уделено изучению влияния на эмбриогенез условий среды: гидродинамического и температурного режимов, биогенного питания и влияния веществ, регулирующих физиологические процессы [19–24]. Во всех упомянутых выше публикациях объектами изучения были представители рода *Fucus*, в основном *F. distichus*, *F. vesiculosus* и *F. serratus*.

В загрязненных районах Авачинского залива *F. evanescens* среди представителей многолетних макрофитов остается одним из немногих видов, способных переносить длительное антропогенное загрязнение. Однако в ряде районов он, а вместе с ним и другие сопутствующие виды уже исчезли. Для восстановления здесь растительного покрова, прежде всего, необходимо восстановление зарослей фукуса. Для этого необходимы сведения по размножению вида и протеканию у него наиболее уязвимой стадии раннего эмбрионального развития. Для камчатских популяций вида они до сих пор оставались неизученными.

### Материалы и методы

Водоросли для лабораторных исследований были собраны в литоральной зоне бух. Сероглазка (Авачинская губа) в начале октября 2015 г. (рис 1).

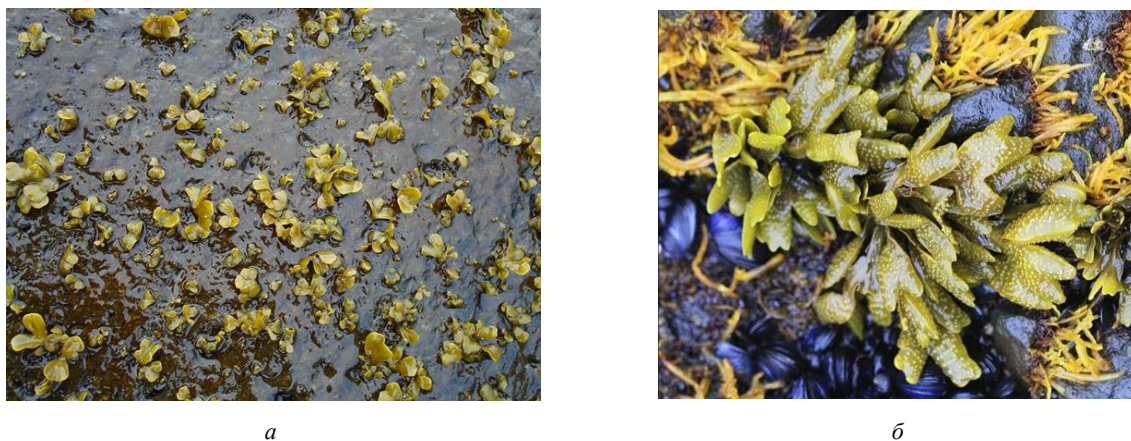


Рис. 1. *Fucus evanescens* в Авачинской губе: ювенильные (а) и взрослые фертильные (б) растения в местах сбора материала

Собранные образцы *F. evanescens* представляли собой дихотомически разветвленные кустики, их общие линейные размеры варьировались от 14 до 20 см. Возраст растений определяли по количеству дихотомий на слоевище. Он, исходя из данных изучения биологии развития вида в Авачинском заливе, проведенных В.Б. Чмыхаловой [3], составлял 3–4 года. У вершины ветвей все отобранные для получения половых продуктов растения имели хорошо развитые хрящеватые вздутия – рецептакулы с отчетливо заметными бугорками в местах развития концептакулов (рис. 1, б).

Для получения зигот фукуса использовали метод, разработанный японскими альгологами, с некоторыми изменениями [25, 26]. В лаборатории отделенные от слоевища рецептакулы промывали в автоклавированной морской воде и переносили в стеклянные чашки Петри размером

9,5×1,5 см, которые помещали на 15–20 часов в инкубационную камеру. В камере поддерживалось непрерывное люминесцентное освещение  $30 \text{ мкмоль} \cdot \text{фотон} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и температура  $10^\circ\text{C}$ . После этого рецептакулы содержали несколько часов в темноте при той же температуре. Далее в чашки Петри с обсушенными рецептакулами наливали охлажденную морскую воду для выхода оогониев и антеридиев из концептакулов. После высвобождения большей части яйцеклеток и антерозоидов из гаметангиев рецептакулы из чашек Петри удаляли. Появившиеся зиготы фукуса перемещали в пластиковые чашки Петри размером 5,5×1,3 см, содержащие IMR-среду для культивирования, она была составлена согласно прописи, приведенной в работе Т.А. Клочковой с соавторами [27].

Для подготовки IMR-среды использовали автоклавированную морскую воду. В 1 л этой воды было добавлено 50 мг  $\text{NaNO}_3$ , 6,8 мг  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1 мл раствора микроэлементов (1 г  $\text{FeCl}_3$ , 0,62 г  $\text{MnSO}_4$ , 0,25 г  $\text{ZnSO}_4$ , 0,13 г  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 4 мг  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 4 мг  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 6 г EDTA и 1 л  $\text{ddH}_2\text{O}$ ) и 0,1 мл раствора витаминов (10 мг тиамина, 0,1 мг цианокабаламина, 0,1 мг биотина и 100 мл  $\text{ddH}_2\text{O}$ ). Для подавления развития диатомовых водорослей и бактерий в культурах фукуса к IMR-среде добавляли растворы  $\text{GeO}_2$  (1 мг/л) и ампициллина (2 мг/л), соответственно.

Культуры с проростками фукуса содержали при постоянной температуре  $10^\circ\text{C}$  в холодильной камере Froster RV PRO 400 G, имеющей стеклянную переднюю дверцу, хорошо пропускающую дневной свет. Изменения светового режима в камере в течение суток были аналогичными таковым в естественной среде. Культуральную среду обновляли каждые 10 дней.

Контроль за оплодотворением и наблюдения за эмбриогенезом *F. evanescens* проводили с помощью стереомикроскопа Olympus CZ40 и тринокулярного биологического микроскопа Olympus BX43. Для фотодокументирования использовали цифровую фотокамеру Infinity 2-3С с программным обеспечением Infinity Analyze ver. 6.5 (Lumenera, Canada). Срезы рецептакулов выполняли вручную лезвием опасной бритвы на предметном стекле.

### Результаты и обсуждение

Гистологическое изучение зрелых рецептакулов у собранных в Авачинской губе растений *F. evanescens* показало, что, наряду с концептакулами, несущими антеридии и оогонии, у них изредка встречаются полости без отверстий, в которых органы размножения отсутствуют. В научной литературе их принято называть цекостомами (рис. 2, а). Их размеры достигали 180–315 мкм в поперечнике. Зрелые концептакулы *F. evanescens* обополюые, их размеры также значительно варьировались от 400 до 700 мкм в поперечнике (рис. 2, б – в).

Как уже было сказано выше, концептакулы у фукусовых водорослей развиваются из одной инициальной клетки, расположенной на поверхности таллома. Ее последующие деления приводят к образованию структур, несущих органы размножения и развивающихся между ними стерильных нитей – парафиз. Деление клеток, окружающих так называемую проспору, одновременно с образованием выстилающего слоя концептакула приводит к формированию округлой полости концептакула. Над концептакулом на поверхности слоевища развивается утолщение и хорошо заметная пора. Через нее в окружающую среду выходят продукты размножения. Нередко до их созревания из концептакула торчат наружу парафизы. Из полостей, в которых органы размножения не образуются, также могут выступать наружу парафизы. Такие стерильные полости принято называть криптостомами. Торчащие из них нити способствуют лучшему использованию растворенных в воде питательных веществ.

Оогонии, в которых развиваются яйцеклетки, появляются в результате деления клеток выстилающего слоя. Даже в молодом возрасте они хорошо отличаются от окружающих их стерильных клеток более темным цветом. Процесс формирования половых продуктов в оогонии завершается формированием у *F. evanescens*, как и у других видов рода *Fucus* [9, 11], 8 яйцеклеток. У изученных образцов в зрелых концептакулах оогонии всегда развивались среди парафиз и имели толстую трехслойную слизистую оболочку: внешнюю – экзохитон, внутреннюю – эндохитон и расположенную между ними – мезохитон (рис. 2, з – д). С выстилающими клетками концептакула они соединялись через поддерживающую клетку. Перед редукционным делением средние размеры оогониев достигали 115 мкм в длину, толщина их слизистой оболочки обычно варьировалась в пределах 4–15 мкм, в отдельных случаях – 20 мкм (рис. 2, з). Зрелые оогонии с хорошо различимыми яйцеклетками имели длину 150–180 мкм (рис. 2, д).

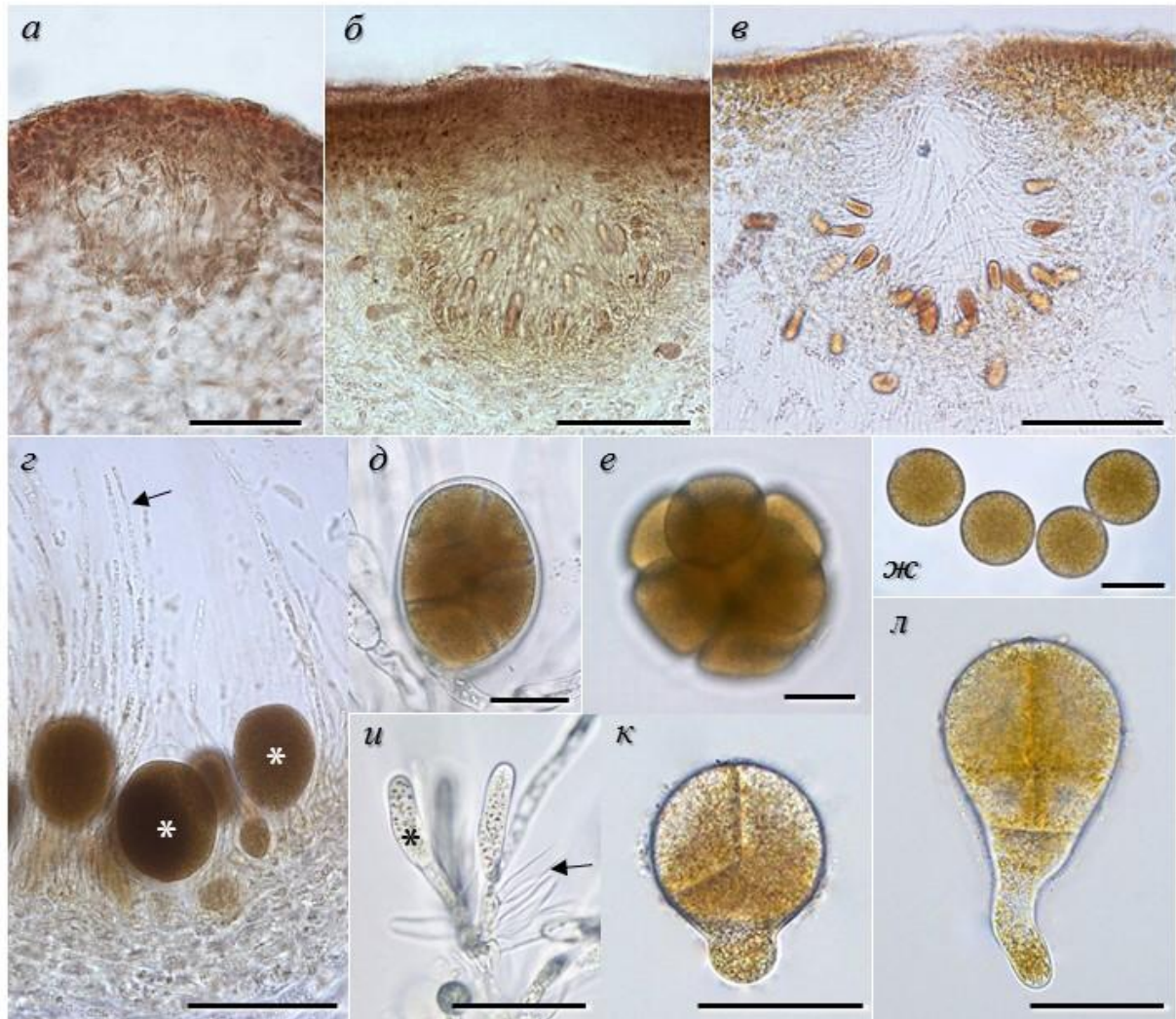


Рис. 2. Строение репродуктивных органов и прорастание зиготы камчатских представителей *Fucus evanesceus*: а – стерильный концептакул (цекостом); б, в – развивающиеся концептакулы, имеющие женские и мужские гаметангии; г – незрелые оогонии до редукционного деления (отмечены звездочкой) и парафизы (отмечены стрелкой); д – зрелый оогоний со сформированными яйцеклетками; е – вышедшие из оогония яйцеклетки, покрытые единой слизистой оболочкой; ж – отделившиеся друг от друга яйцеклетки; и – зрелые (отмечены звездочкой) и пустые (отмечены стрелкой) антеридии; к – первые деления талломической клетки проростка; л – развитие проростка на 7-й день культивирования. Масштаб: а, б – 150 мкм, в, г – 100 мкм, д – л – 50 мкм

В лабораторных условиях после стимуляции рецептакулов яйцеклетки покидали оогонии в течение первых часов после добавления охлажденной морской воды. При этом некоторое время они еще были окружены единой двуслойной оболочкой, образованной мезо- и эндохитонем (рис. 2, е). Третий внешний слой оболочки оогония – экзохитон, оставался прикрепленным к поддерживающей его клетке. Уже через несколько минут двуслойная оболочка, окружающая яйцеклетки, разбухла, разрывалась, и округлые яйцеклетки высвобождались в окружающую среду (рис. 2, ж). Они содержали многочисленные бурые гранулы и достигали 75 мкм в поперечнике.

Мужские гаметангии (антеридии) формировались на разветвленных нитях, отходящих от клеток выстилающего слоя концептакула, среди оогониев и парафиз. Они развивались на центральной оси и боковых ветвях (рис. 2, и). Антеридии имели двуслойную оболочку, поэтому все антерозоиды, покидая гаметангии, были заключены в единый однослойный слизистый пакет. Внешний слой оболочки антеридия так же, как и у оогониев, оставался прикреплен к несущей их нити (рис. 2, и). В культуральной среде свободноплавающие антерозоиды появлялись быстрее, чем высвободившиеся из оогониев яйцеклетки.

Яйцеклетки фукуса выделяют в окружающую среду феромон фукосерратен, который привлекает к ним антерозоиды [28]. Проследить момент оплодотворения в лабораторных условиях не представилось возможным, поскольку для этого обычно используют отсутствующий в нашем

распоряжении инвертированный микроскоп. За момент появления зигот мы приняли период, прошедший после четырех часов после добавления охлажденной морской воды к простимулированным рецептакулам. Проведенные нами наблюдения показали, что к этому моменту в культуральной среде с активно плавающими антерозоидами все яйцеклетки уже покинули оогонии. Известно, что образование зигот у фукуса при смешивании зрелых яйцеклеток и антерозоидов происходит в течение  $30 \pm 15$  мин [25, 26]. Их дальнейшее развитие в первые часы существования изучено достаточно подробно. В работах зарубежных и отечественных альгологов описаны важные аспекты поляризации зиготы, ее первого деления и связанные с этими процессами внутриклеточные перестройки [12, 14, 17, 18, 22].

Первое деление у зиготы исследуемого фукуса происходило через сутки после их появления. На 7-й день содержания в лабораторных условиях проростки *F. evanescens* состояли из 3–8 клеток (рис. 2, *к – л*). Образовавшиеся после первого деления зиготы клетки уже имели первичную дифференциацию. Одна из них была более крупной и округлой – талломической, другая более вытянутой – ризоидальной. Как правило, талломическая клетка делилась активной. Соответственно, большинство клеток пластинчатой части слоевища фукуса являются производными от талломической клетки, а подошва, ствол и небольшая часть основания кустика – ризоидальной. В наших исследованиях у некоторых эмбрионов формировались по две ризоидальные клетки.

К 26-му дню культивирования фукуса размеры самых крупных проростков достигали 600 мкм в длину (рис. 3, *а – б*). Их ризоидальная часть обычно была неразветвленной и состояла из 6–8 клеток (рис. 3, *а*). На апикальной части проростков формировались однорядные многоклеточные гиалиновые волоски (рис. 3, *б*). Дальнейшее развитие ювенильных спорофитов приводило к появлению у терминальных клеток ризоидов разветвленных выростов и к росту гиалиновых волосков на вершине пластины (рис. 3, *в – г*).

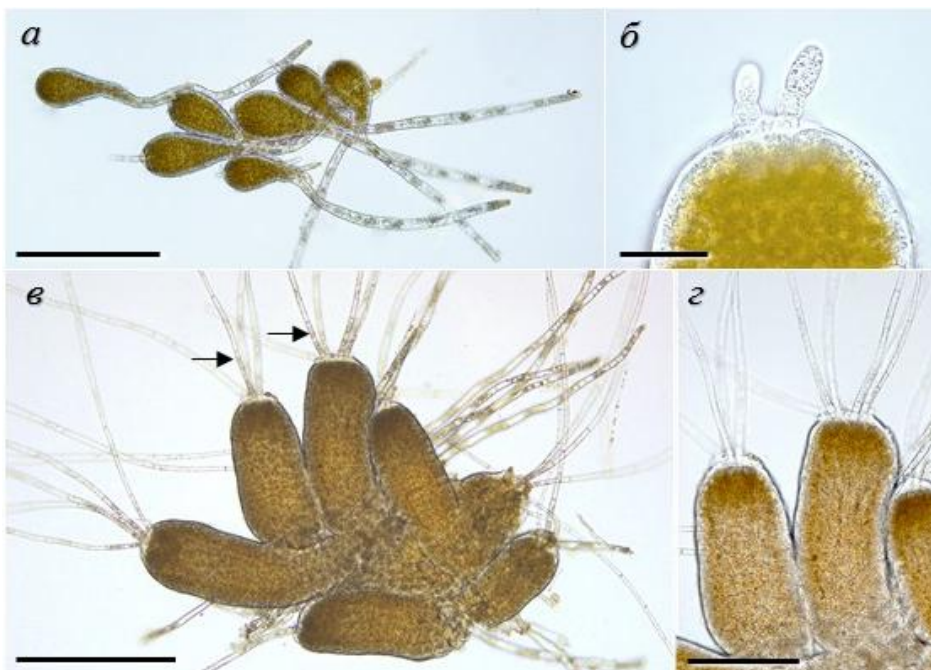


Рис. 3. Разновозрастные проростки *Fucus evanescens* в культурах: *а* – групповое развитие ювенильных спорофитов, отчетливо прослеживается их талломическая и ризоидальная части; *б* – образование апикальных волосков на 26-е сутки культивирования; *в, г* – спорофиты с развитыми гиалиновыми волосками (отмечены стрелками) на 115-й день культивирования. Масштаб: *а, в* – 250 мкм, *б* – 20 мкм, *г* – 50 мкм.

К четвертому месяцу культивирования молодые спорофиты уже были заметны невооруженным глазом и достигали 1,0–1,2 мм длины. Апикальная часть их пластин имела 2–4 многоклеточных волоска, размеры которых зачастую превышали оставшуюся часть спорофита. Известно, что развитие гиалиновых волосков у фукоидов напрямую связано с концентрацией биогенов в среде. Разрастаясь, они увеличивают площадь поверхности слоевища, через которую усваиваются необходимые питательные вещества. Исследования на проростках видов *F. evanescens* и *F. serratus* показали, что количество и длина гиалиновых волосков имеют отрицательную кор-

реляцию с содержанием биогенных элементов (нитратов и фосфатов) в среде [23]. Также автор указанной выше работы отметил, что у вида *F. evanescens* эта связь выражена сильнее, чем у *F. serratus*, и в обедненной биогенами среде на их проростках развиваются более 20 гиалиновых волосков. В наших исследованиях у проростков *F. evanescens* формировалось не более 4 волосков (рис. 3, в – г), это означает, что используемая нами культуральная среда имела достаточную для раннего развития фукусовых водорослей концентрацию питательных веществ.

Представленные в настоящей работе данные по биологии развития *F. evanescens* являются первыми сведениями о ранних микроскопических стадиях жизненного цикла в лабораторных культурах камчатских популяций данного вида. Полученные сведения могут послужить основанием для разработки биотехнологии получения посадочного материала для искусственного выращивания фукуса в санитарной марикультуре и его восстановления в местах прежнего произрастания, где он исчез под влиянием антропогенного загрязнения или иных причин.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ, научный проект № 16-34-00874 мол\_а).

### Литература

1. Петров Ю.Е. Ламинариевые и фукусовые водоросли морей СССР (морфология, экология, филогения, систематика): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Л., 1975. – 53 с.
2. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. – Владивосток; Петропавловск-Камчатский, 1997. – 155 с.
3. Чмыхалова В.Б. Развитие бурой водоросли *Fucus evanescens* Ag. в прикамчатских водах: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2005. – 25 с.
4. Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. – Владивосток, 2006. – 243 с.
5. Фукоиданы – сульфатированные полисахариды бурых водорослей. Структура и биологические свойства / С.Д. Анастюк, Н.Н. Беседнова, Л.Н. Богданович, С.П. Ермакова, Т.С. Запорожец, Т.Н. Звягинцева, Т.И. Имбс, Н.Н. Ковалев, Т.Н. Крупнова, Т.А. Кузнецова, М.И. Кусайкин, С.П. Крыжановский, И.Д. Макаренкова, Т.Н. Пивненко, Л.М. Сомова, Н.М. Шевченко. – Владивосток, 2014. – 380 с.
6. 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.
7. 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.
8. Рыжик И.В., Макаров М.В., Воскобойников Г.М. Физиологическое состояние литоральных бурых водорослей *Fucus serratus* Linnaeus, 1753 и *Fucus distichus* Linnaeus, 1767, произраставших на плантации-биофилтре в Баренцевом море // Биология моря. – 2014. – Т. 40, № 2. – С. 131–136.
9. Петров Ю.Е. Размножение и циклы развития водорослей // Жизнь растений: Т. 3. Водоросли и лишайники. – М.: Просвещение, 1977. – С. 38–43.
10. Oltmanns F. Morphologie und biologie der algen. Zweite, umgearbeitete Auflage. Zweiter Band. Phaeophyceae-Rhodophyceae. 2 ed. – Gustav Fischer, 1922. – 439 p.
11. Smith G.M. Cryptogamic botany. Vol.1. Algae and Fungi. – New York: McGraw-Hill, 1955. – 546 p.
12. Quatrano R.S. Gamete release, fertilization, and embryogenesis in the Fucales. In Handbook of Phycological Methods: Developmental and Cytological Methods, E. Gantt, ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 1980. – P. 60–68.
13. Brawley S.H., Robinson K.R. Cytochalasin treatment disrupt the endogenous currents associated with cell polarization in fucoid zygotes: studies of the role of F-actin in embryogenesis // J. Cell Biol. – 1985. – V. 100. – P. 1173–1184.
14. Kropf D.L. Induction of polarity in fucoid zygotes // Plant Cell. – 1997. – Vol. 9. – P. 1011–1020.
15. Bisgrove I S.R., Kropf D.L. Asymmetric cell divisions: zygotes of fucoid algae as a model system // Plant Cell Monogr. – 2007. – Vol. 134 (9). – P. 323–341. – DOI 10.1007/7089\_2007\_134/

16. *Motomura T.* Electron and immunofluorescence microscopy on the fertilization of *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae) // *Protoplasma*. – 1994. – Vol. 178. – P. 97–110.
17. *Nagasato C., Motomura T., Ichimura T.* Influence of centriole behavior on the first spindle formation in zygotes of the brown alga *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae) // *Developmental Biology*. – 1999. – Vol. 208. – P. 200–209.
18. Development and function of plasmodesmata in zygotes of *Fucus distichus* / *C. Nagasato, M. Terauchi, A. Tanaka, T. Motomura* // *Botanica Marina*. – 2015. – Vol. 58, № 3. – P. 229–238.
19. *Тараховская Е.Р., Маслов Ю.И., Полевой В.В.* Влияние некоторых физиологически активных веществ на прорастание зигот *F. vesiculosus* L. // *Вестник СПбУ. Сер. 3*. – 2002. – Вып. 4, № 27. – С. 125–129.
20. Влияние гидродинамических условий на рост и морфогенез эмбрионов *Fucus vesiculosus* L. (Phaeophyta) / *Е.Р. Тараховская, Ю.И. Маслов, А.И. Раилкин, А.Р. Бесядовский* // *Вестник СПбУ. Сер. 3*. – 2008. – Вып. 4. – С. 70–76.
21. Роль ауксина в индукции полярности у зигот *F. vesiculosus* L. / *В.В. Полевой, Е.Р. Тараховская, Ю.И. Маслов, А.В. Полевой* // *Онтогенез*. – 2003. – Т. 34, № 6. – С. 432–437.
22. *Тараховская Е.Р.* Влияние гормональных и метаболических факторов на фотосинтетический аппарат *Fucus vesiculosus* L. в сравнении с представителями других таксономических групп водорослей: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – СПб, 2006. – 163 с.
23. *Steen H.* Apical hair formation and growth of *Fucus evanescens* and *F. serratus* (Phaeophyceae) germlings under various nutrient and temperature regimes // *Phycologia*. – 2003. – Vol. 42 (1). – P. 26–30.
24. *Steen H., Scrosati R.* Intraspecific competition in *Fucus serratus* and *F. evanescens* (Phaeophyceae: Fucales) germlings: effects of settlement density, nutrient concentration, and temperature // *Marine Biology*. – 2004. – Vol. 144. – P. 61–70.
25. *Wakana I., Abe M.* Artificial insemination ‘regulated by EDTA’ in the monoecious brown alga *Fucus evanescens* // *Plant Cell Physiol*. – 1992. – Vol. 33. – P. 569–575.
26. *Motomura T.* Electron and immunofluorescence microscopy on the fertilization of *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae) // *Protoplasma*. – 1994. – Vol. 178. – P. 97–110.
27. Biology of a terrestrial green alga *Chlorococcum* sp. (Chlorococcales, Chlorophyta) collected from the Miruksazi stupa in Korea / *Klochkova T.A., Kang S.-H., Cho G.Y., Pueschel C.M., West J.A., Kim G.H.* // *Phycologia*. – 2006. – Vol. 45. – P. 115–124.
28. *Müller D., Jaenicke L.* Fucoserraten, the female sex attractant of *Fucus serratus* L. (Phaeophyta) // *FEBS Letters*. – 1973. – Vol. 30. – P. 137–139.

#### Информация об авторах Information about authors

**Климова Анна Валерьевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; научный сотрудник отдела науки и инноваций; annaklimovae@mail.ru

**Klimova Anna Valerevna** – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Researcher of Science and Innovation Department; annaklimovae@mail.ru

**Кашутин Александр Николаевич** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; аспирант; Kashutin-an@yandex.ru

**Kashutin Aleksandr Nikolaevich** – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Postgraduate; Kashutin-an@yandex.ru