

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *ALARIA* GREV. В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ

Т.Н. Королёва

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: oni@kamchatgtu.ru

В данной статье представлены результаты изучения анатомо-морфологических особенностей представителей *Alaria angusta* Kjellm. и *Alaria marginata* P. et R., произрастающих в разных районах Авачинского залива (юго-восточная Камчатка). Выявлены зависимости показателей сезонного анатомо-морфологического развития разновозрастных представителей изучаемых видов от загрязнения окружающей среды, которые являются результатом адаптации растений к антропогенному воздействию.

Ключевые слова: юго-восточная Камчатка, бурые водоросли-макрофиты, особенности развития, род *Alaria*.

Some features of anatomic and morphological development of *Alaria* grev. algae in different ecological conditions. T.N. Korolyeva (Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia, 683003)

Research of anatomic and morphological features of representatives of *Alaria angusta* Kjellm. and *Alaria marginata* P. et R., growing in different areas of the Avachinsky gulf (south-east of Kamchatka) is presented. Dependences of indicators of seasonal anatomic-morphological development of uneven-age representatives of studied kinds on environmental contamination which grow out of adaptation of plants to anthropogenous influence are revealed.

Key words: south-east of Kamchatka, brown algae macrophytes, features of development, *Alaria*.

На камчатском шельфе *Alaria angusta* Kjellm. и *Alaria marginata* P. et R. являются одними из массовых видов бурых водорослей [1–3 и др.]. В Авачинском заливе в районах проведения исследований они образуют смешанные заросли с *Saccharina bongardiana*. В сильнозагрязненном районе внутренней части Авачинской губы – б. Сероглазка – заросли образованы разновозрастными представителями *A. marginata* и *S. bongardiana*, растения *A. angusta* здесь можно встретить крайне редко. Следует отметить, что продолжительность жизни алярии и сахарины в этом районе в условиях сильного антропогенного пресса составляет два года [4–9]. В редких случаях ранней весной можно обнаружить трехлетние растения *A. marginata* с практически разрушившейся пластиной и плохо сохранившимися спорофиллами [9]. В слабозагрязненном районе – горле Авачинской губы – распространены все три вида, доминирующими в таком сообществе являются *S. bongardiana* и *A. angusta*. Растения здесь могут развиваться до трех лет, но наибольший процент встречаемости в популяциях этих видов по нашим данным характерен для двухлетних водорослей. Для *A. marginata* в этом районе исследований оптимальной для развития является литоральная зона шельфа в основном с сильно прибойными участками. В б. Спасения – районе, принятом для наших исследовательских работ как чистый, – мы изучали смешанные заросли *A. angusta* и *S. bongardiana*. Представители *A. marginata* за весь период наших исследований встречались очень редко и только в выбросах.

Работы по сбору материала осуществляли в разные сезоны года – весной, летом и осенью. Каждый период сбора соответствовал определенной фазе развития растений. Одну пробу конкретного вида сортировали по возрастам и затем в каждой возрастной группе отбирали наиболее типичные растения для дальнейшего исследования. После этого из групп отсортированных водорослей брали обычно не менее трех слоевищ каждого возраста каждого вида, вырезали участки различных частей слоевища и формировали наборы для подготовки к микрокопированию.

В связи с большим объемом на данном этапе исследовательских работ мы не могли сразу из всего количества свежесобранных растений подготовить срезы, и поэтому часть материала была погружена в формалин для сохранения целостности тканевых структур. Затем спустя некоторое время весь материал был использован для выполнения срезов.

Срезы на предметных стеклах были подвержены фиксации. На каждом стекле проставлялся номер, соответствующий определенной записи в специально разработанной для этого таблице.

После рассмотрения под микроскопом и фотографирования номер изображения и комментарии также записывали под определенным номером в журнал исследователя. Всего в ходе выполнения научно-исследовательских работ по изучению сезонных анатомо-морфологических особенностей ламинариевых водорослей было обработано 236 растений, для изучения которых было подготовлено около 3000 стекол с фиксированными срезами.

Чтобы выявить анатомо-морфологические особенности развития интересующих нас видов и провести сравнительный анализ полученных в ходе их обработки данных, мы использовали специально разработанные для этого схемы, в которых основные блоки разделялись соответственно районам проведения исследований. В этих блоках фиксировали всю полученную информацию, что позволяло легко обобщать и сравнивать и, конечно, ставить последующие задачи для более полного представления о развитии видов. Интерес к изучению особенностей анатомо-морфологического развития алярий в разных экологических условиях возник в связи с тем, что в настоящее время полная информация по этому вопросу отсутствует. Необходимым является выяснить, каким образом представители изучаемых видов могут адаптироваться к условиям произрастания с разной степенью загрязнения и каковы возможности их физиологического потенциала в стрессовых условиях среды.

A. angusta, как говорилось выше, изучали в чистом и слабозагрязненном районах исследований. Слоевище у растений этого вида дифференцировано на несколько частей (рис. 1, а) и в зависимости от возраста и условий произрастания имеет отличительные особенности.

На рис. 1, б представлен внешний вид слоевища *A. marginata*, которое имеет схожее строение с предыдущим видом, но отлично от него несколькими другими формами дифференцированных частей. У талломов всех возрастных групп рассматриваемого вида в районах наших исследований пластина и спорофиллы более широкие и плотность спорофиллового пучка меньше. Также этому виду свойственна форма пластины с самой широкой частью в ее середине, и по сравнению с *A. angusta* она является более тонкой на ощупь с наличием немалого количества криптостом.

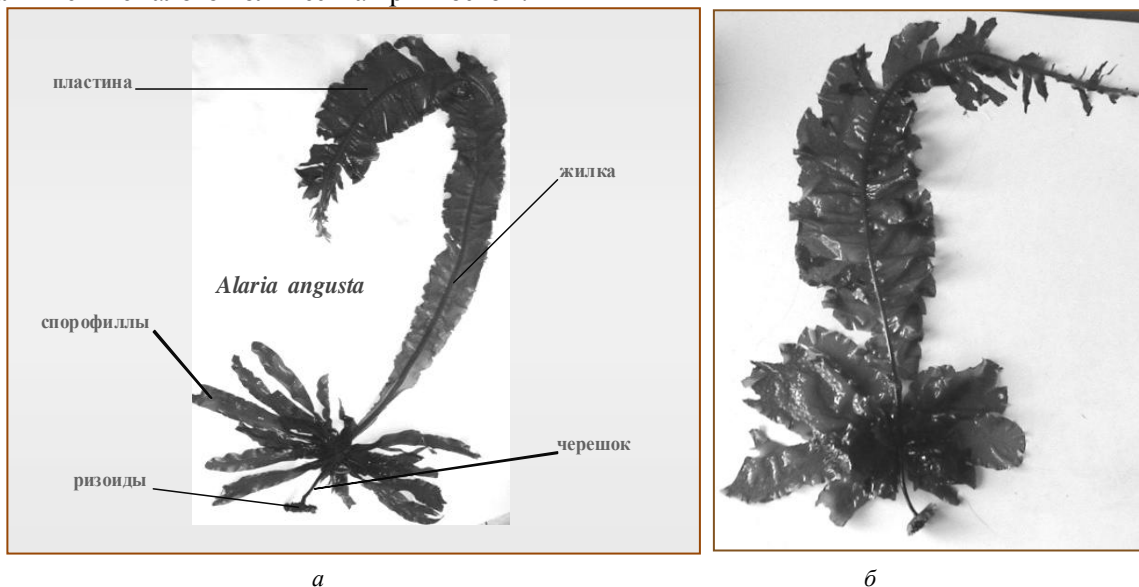


Рис. 1. Слоевище *Alaria angusta* (а) и *Alaria marginata* (б)

Криптостомами называют углубления или так называемые ямки на поверхности пластины с многоклеточными волосками с базальной зоной роста. Внешний вид пластины с криптостомами и их микрофотография показаны на рис. 2.

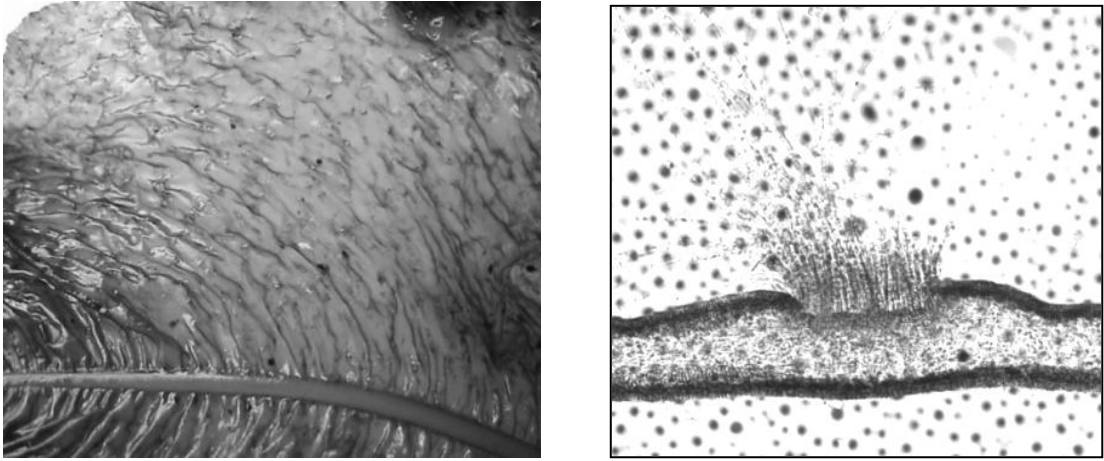


Рис. 2. Фрагмент пластины *Alaria marginata* (слева) с криптостомами и их микрофотография (справа)

В ходе наших научных работ установлена зависимость площади поверхности пластины, занимаемой криптостомами, и плотности их расположения от возраста и степени зрелости пластинчатой части, а также от условий окружающей среды. По анализу полученных коэффициентов можно сказать, что их значения в зависимости от вышеперечисленных признаков могут различаться даже в несколько раз, и более всего это характерно для алярий из загрязненных районов побережья.

В районах проведения научных работ продолжительность жизни *A. angusta* составляет три года. У *A. marginata* в районе со слабым загрязнением – три года, а в условиях сильного загрязнения – два года. Отличием между растениями из б. Спасения, горла и внутренней части Авачинской губы является разница в их физиологическом состоянии, что подтверждается не только внешними признаками, но и значениями биопараметров различных частей слоевища. Это характерно в основном для взрослых растений.

Для водорослей в возрасте 0 лет можно сказать, что по физиологическому состоянию в первых двух районах исследований они практически одинаковые, а во внутренней части Авачинской губы имеются незначительные отличия по размерно-массовым показателям, но рост представителей этого возраста обоих видов происходит по примеру, представленному на рис. 3.

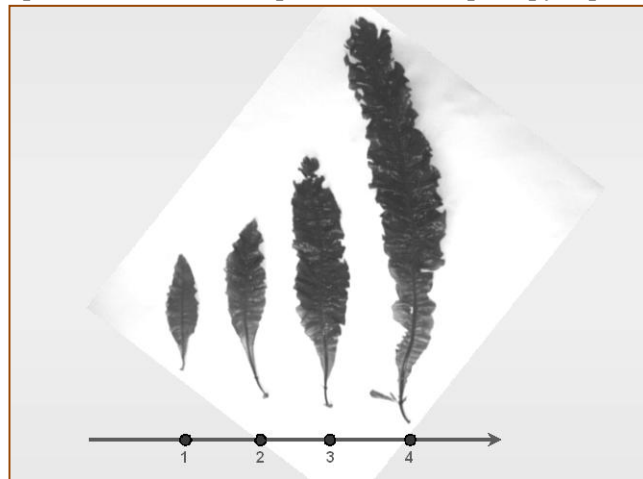


Рис. 3. *Alaria angusta* в возрасте 0 лет. Развитие в Авачинском заливе с мая по август (цифра 1 – 26 мая; 2 – 7 июня; 3 – 14 июля; 4 – 10 августа)

Что касается анатомического строения ювенильных растений, то по представленным в табл. 1 микрофотографиям *A. angusta* можно сказать, что в слабозагрязненном районе по сравнению с чистым местообитанием их жилка становится меньше по толщине, но клетки промежуточного слоя крупнее. Что касается пластины этого вида, то она и в отношении толщины и в отношении размера клеток тканей больше, чем у растений из чистого района исследований. *A. marginata* в слабозагрязненном районе по сравнению с районом сильного загрязнения имеет большую толщину и пластины, и жилки, но размер клеток у жилки в промежуточном слое меньше (табл. 2).

Микрофотографии, представленные ниже, во всех таблицах выполнены в едином масштабе.

Таблица 1

Внутреннее строение ювенильных растений *Alaria angusta*


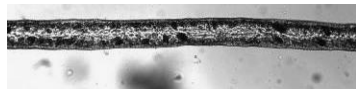
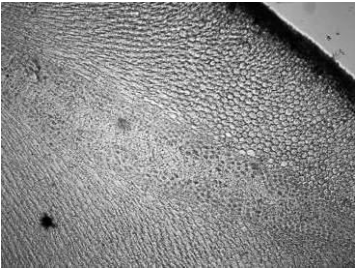
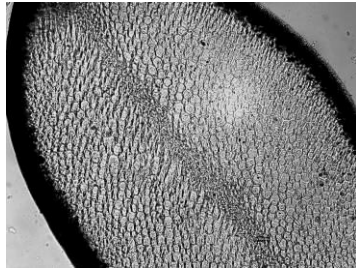
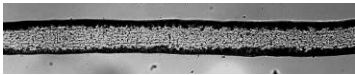
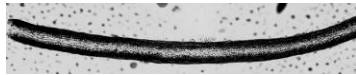
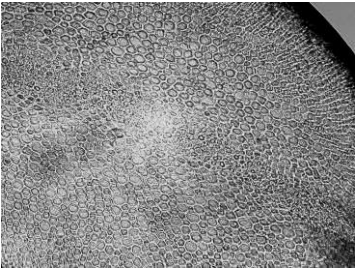
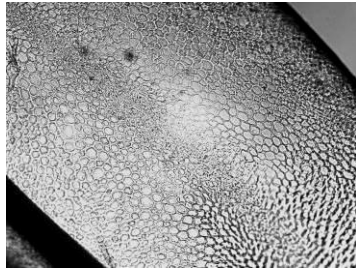
Часть слоевища	б. Спасения	б. Лагерная
пластина		
жилка		

Таблица 2

Внутреннее строение ювенильных растений *Alaria marginata*

Часть слоевища	б. Лагерная	б. Сероглазка
пластина		
жилка		

Развитие ризоидальной системы представлено на рис. 4. По нашим наблюдениям нарастание яруса ризоидов происходит постепенно от месяца к месяцу. В данном случае показано, как это осуществляется у растений первого года жизни. По результатам, полученным в ходе изучения алярий обоих видов в различных местообитаниях, можно говорить, что к концу первого года вегетации практически все представители имеют сформированный ярус ризоидов, но чем больше степень загрязнения, тем он становится более мощным. Предполагаем, что это связано с изменением стратегии развития растений в условиях антропогенного загрязнения [9]. К началу следующего года жизни в ранневесенний период у водорослей можно наблюдать по два яруса ризоидов, и лишь к концу летнего периода он обычно практически весь разрушается.

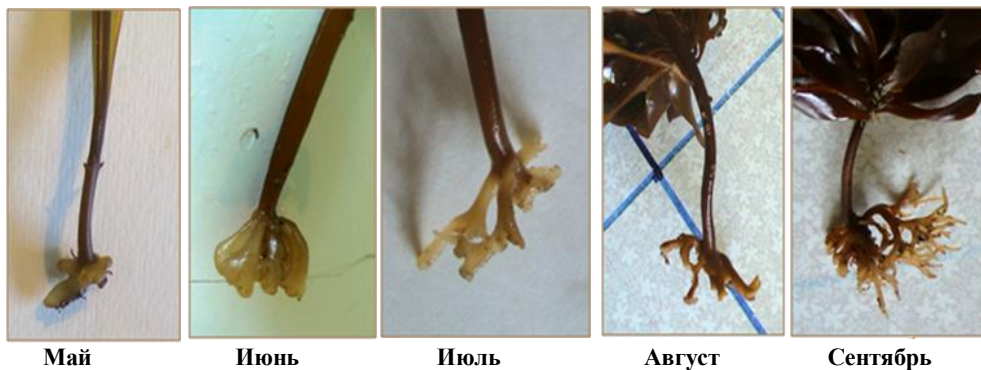


Рис. 4. Сезонное развитие ризоидальной системы у алярии

Развитие спорофиллового пучка у изучаемых видов может происходить по-разному. Один из самых распространенных вариантов представлен на рис. 5. Начало роста спорофиллов может быть

как одностороннее, так и двухстороннее. Следующие стадии развития: период их активного роста, созревание первых спорофиллов и продолжение роста новых, а также вступление в стадию спороношения могут протекать с разной скоростью в зависимости от сезона и условий окружающей среды.



Рис. 5. Развитие спорофиллов у алярии

На следующем рисунке на примере двухлетних растений *A. angusta* представлены фотографии различных степеней зрелости и форм спороносных пятен (рис. 6). Все представленные варианты возможно наблюдать одновременно у одного растения. Но это бывает обычно только у алярий второго года жизни. У однолетних и трехлетних растений такая разница в развитии спорофиллов одного пучка иногда может быть только лишь в весенний период активного роста. В остальные фазы их вегетации площадь спороносных пятен и стадия развития мало отличаются у каждого спорофилла в пределах одного растения.

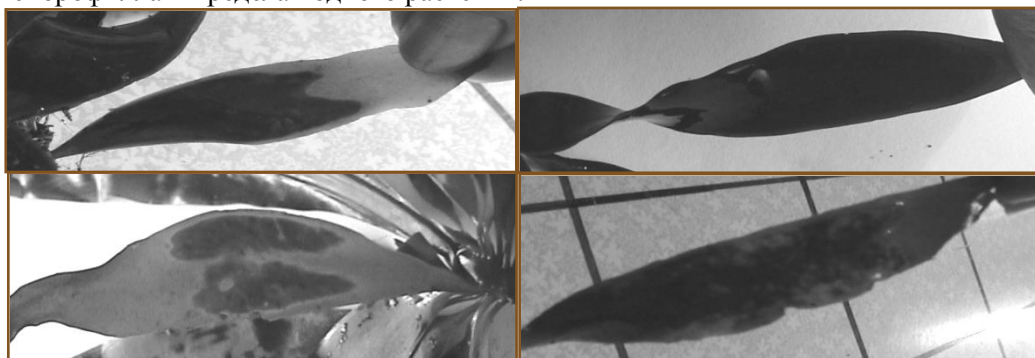


Рис. 6. Изменчивость спороносных пятен у спорофиллов двухлетних растений *Alaria angusta*

Внутреннее строение спорофиллов представлено на рис. 7. Фрагменты стерильных и фертильных спорофиллов на этих фотографиях характерны для разновозрастных водорослей, произрастающих в районах с разными экологическими условиями. В зависимости от природных и антропогенных факторов среды может изменяться толщина спорофиллов, толщина медуллярного и промежуточного слоев, размер клеток и степень пигментации, а также плотность посадки спорангиев и парафиз и другое.

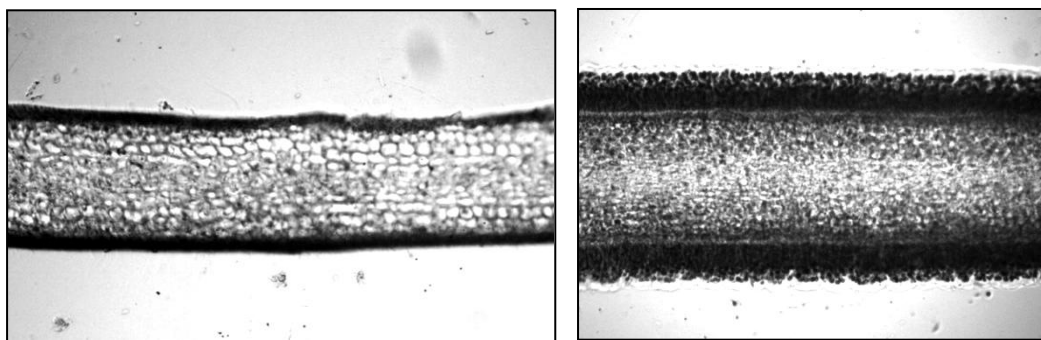


Рис. 7. Внутреннее строение спорофиллов алярии. Слева стерильный, справа фертильный фрагменты спорофиллов

Кроме этого, в ходе наших исследований выявлены зависимости степени зрелости (Сзр.) и количества спорофиллов (Ксп.) у растений обоих видов рода *Alaria* всех возрастов. На рис. 8 представлен один из вариантов этих зависимостей на примере двухлетней *A. angusta*.

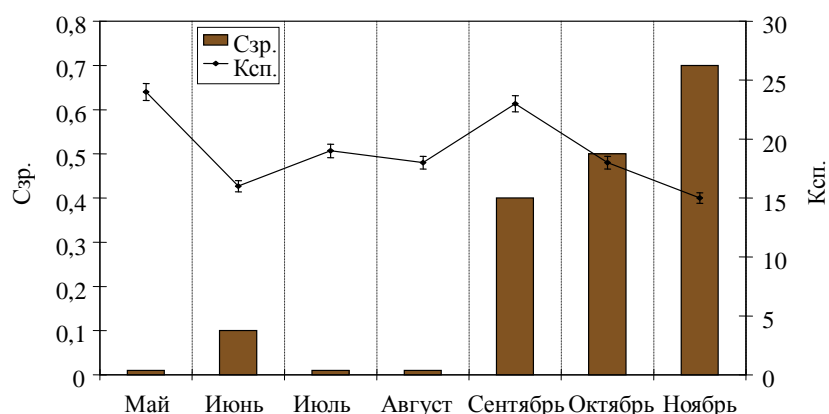


Рис. 8. Количество спорофиллов и степень их зрелости у двухлетних представителей *Alaria angusta* в разные сезоны года

По результатам наших научно-исследовательских работ можно сказать, что в анатомо-морфологическом развитии пластин аляриевых водорослей наблюдаются свои особенности. Возрастное развитие растений в чистом, слабо- и сильнозагрязненных районах имеет принципиальные различия. Рассмотрим их на примере *A. marginata* (рис. 9), так как представители этого вида активно развиваются на участках побережья, подвергающихся различной степени антропогенного воздействия, и в этом смысле в рамках наших исследований представляют большой интерес.

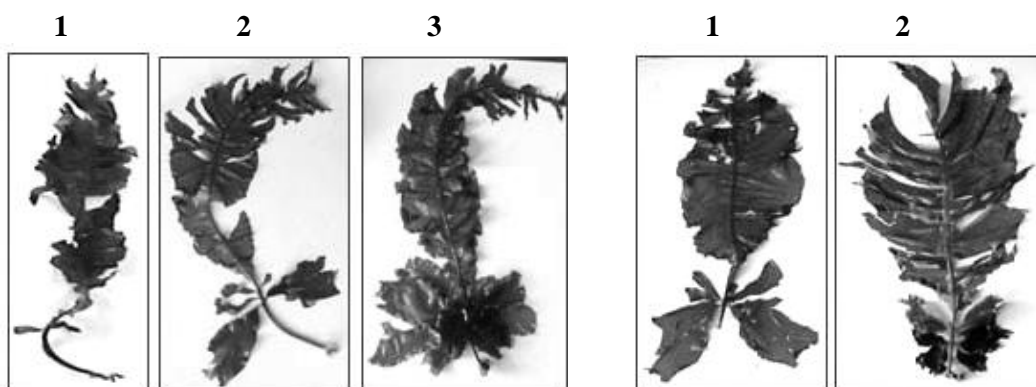


Рис. 9. Разновозрастные растения *Alaria marginata* из разных экологических районов: а – из слабозагрязненного района, б – сильнозагрязненного района

Как мы уже писали выше, этот вид в ненарушенной и слабонарушенной среде сохраняет способность к трехлетней продолжительности жизни. При сильном воздействии загрязнения вид развивается в течение двух лет, реализовывая все заложенные в него биологические функции, при

этом изменяя стратегию своего развития [7, 9]. По представленным фотографиям можно говорить о том, что пластины каждой возрастной группы имеют отличительные черты габитуса по отношению друг к другу, что естественно отражается на их размерно-массовых показателях.

В условиях слабого загрязнения горла Авачинской губы разница между средним показателем длины растения у разновозрастных представителей вида может составлять 10–15%, между показателями средней массы – 45–50%. Во внутренней части Авачинской губы в районе с сильным загрязнением, судя по нашим данным, средние размерные показатели растений изменяются незначительно по сравнению с таковыми у растений из чистого района. Но показатели массы имеют существенные отличия, и в один и тот же период развития у одновозрастных алярий из разных районов произрастания разница средних значений массы может достигать 20% и более.

Нами был проведен анализ полученных данных по результатам изучения внутреннего строения пластинчатой части аляриевых водорослей. Результаты исследований в виде микрофотографий были сведены в специальные таблицы, а изменения размерных показателей анатомических структур представлены в виде диаграмм. Данные свидетельствуют о разнице в значениях показателей толщины дифференцированных частей пластин, различной пропорциональности тканевых слоев как отдельно у каждой возрастной группы, так и у вида в целом в зависимости от района исследований. Кроме этого, отмечена пространственная изменчивость размеров клеток в пределах одного растения в зависимости от сезона года и условий окружающей среды. Данный материал в отношении научной новизны требует более глубокого осмысления и предполагает дальнейшую обработку, используя современные методы компьютерного анализа.

Литература

1. Петров Ю.Е. Ламиinarieвые и фукусовые водоросли морей СССР // Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Л., 1975. – 53 с.
2. Виноградова К.Л., Клочкова Н.Г., Перестенко Л.П. Список водорослей литорали восточной Камчатки и западной части Берингова моря // Литораль Берингова моря и юго-восточной Камчатки. – М.: Наука, 1978. – С. 150–155.
3. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 154 с.
4. Королёва Т.Н. Развитие бурой водоросли *Laminaria bongardiana* P. et R. в прикамчатских водах // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2004. – 25 с.
5. Korolyova T. N. Development of species of *Alaria* in different environmental conditions of the Kamchatka's waters // The Fourth Asia Pacific Phycological Forum. Bangkok, Thailand Abs., 2005. – P. 178.
6. Королёва Т.Н. Изменчивость *Alaria angusta* Kjellm. в прикамчатских водах // Материалы VII науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». – Петропавловск-Камчатский, 2006а. – С. 268–271.
7. Королёва Т.Н. Некоторые сведения по развитию *Alaria marginata* (P. et R.) в Авачинском заливе // Материалы VII науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». – Петропавловск-Камчатский, 2006б. – С. 272–275.
8. Королёва Т.Н. Некоторые особенности биологии *Alaria angusta* в прикамчатских водах // Материалы науч. конф., посвященной 70-летию С.М. Коновалова «Современное состояние водных биоресурсов». – Владивосток, 2008. – С. 127–129.
9. Королёва Т.Н. Особенности развития камчатских представителей рода *Alaria* в условиях сильного антропогенного загрязнения // Раст. ресурсы. – 2011 (в печати).