

УДК 502.31:581.55

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ОБЩЕГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА У *SACCHARINA BONGARDIANA* (LAMINARIALES, PHAEOPHYTA), ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

А. А. Конева, Н. Г. Клочкова



Аспирант, проректор по научной работе, Камчатский государственный технический университет
683003 Петропавловск-Камчатский, Ключевская, 35
Тел., факс: (4152) 300-929, (4152) 420-501
E-mail: ninakl@mail.ru

SACCHARINA BONGARDIANA, ПОРЯДОК *LAMINARIALES*, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, АЛЬГИНОВЫЕ КИСЛОТЫ, БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

Приводятся результаты изучения помесечных изменений содержания воды, общего количества органических и минеральных веществ, альгиновых кислот у массового промыслового вида бурых водорослей Юго-Восточной Камчатки *Saccharina bongardiana* (Laminariales), которые связаны со сменой фаз развития растений. Материал для исследования собирали с апреля по октябрь включительно во внутренней части Авачинской губы, в районе, испытывающем антропогенное загрязнение. Показано, что в 2011 г. максимальное содержание воды у сахарины наблюдалось в апреле (93,5%), в период активного линейного роста растений, и августе (90%), что совсем не типично для летнего развития камчатских ламинариевых. Усиление обводненности тканей у *S. bongardiana* в конце лета объясняется активизацией линейного роста пластин, последовавшего после их сильного разрушения, вызванного резким повышением температуры прибрежных вод в конце июля – начале августа. Содержание органических и минеральных веществ, альгиновых кислот у данного вида также претерпевает значительные помесечные изменения. Они объясняются особенностями сезонного развития вида в антропогенной среде и его нарушениями под воздействием неблагоприятных температур.

SEASONAL DYNAMICS OF THE TOTAL CHEMICAL COMPOSITION AT *SACCHARINA BONGARDIANA* (LAMINARIALES, PHAEOPHYTA), GROWING IN AVACHA BAY (SOUTHEAST KAMCHATKA)

А. А. Koneva, N. G. Klochkova

Graduate student, vice-rector for Academic affairs, Kamchatka State Technical University
683003 Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya, 35
Tel., fax.: (4152) 300-929, (4152) 420-501
E-mail: ninakl@mail.ru

LAMINARIA SACCHARINA BONGARDIANA, ORDER *LAMINARIALES*, CHEMICAL COMPOSITION, ALGINIC ACIDS, DEVELOPMENTAL BIOLOGY

Results of studying of monthly changes of the content of water, total of organic and mineral substances, alginic acids at the most widespread trade species of brown alga of southeast Kamchatka of *Saccharina bongardiana* (Laminariales) are given. They are connected with change of phenological phases of plants development. Material for research was collected from April to October in an internal part of the Avacha bay, in the area, which characterized by anthropogenous pollution. It is shown that in 2011 the maximum content of water at *Saccharina* was 93.5% in April in period of active linear growth of plants and 90% in August. This phenomena isn't so typical for summer development of the Kamchatka's laminariacean. Increase in the content of water in *S. bongardiana* plates in August is possible to explain activation by linear growth of the plates, followed after their strong destruction, caused by appreciable increase of coastal water temperature during period from end of July – beginning of August. The content of organic and mineral substances, alginic acids in this species also undergoes considerable monthly changes. They are defined by specifics of seasonal development of a species in the anthropogenous environment and its violations under the influence of abnormal temperatures.

Ламинариевые водоросли (пор. *Laminariales*) играют большую роль в жизни прибрежных сообществ и являются ценными объектами прибрежного промысла. Выбор направлений их переработки во многом определяется особенностями химического состава перерабатываемого растительного сырья. Он, как известно, имеет видоспецифические осо-

бенности и подвержен значительным сезонным изменениям (Коровкина и др., 2007). При проведении альгохимических исследований принято, прежде всего, определять содержание у водорослей воды и сухого вещества, а в сухом веществе — общее количество минеральной и органической составляющих. Соотношение всех названных ком-

понентов определяет пищевую ценность ламинариевого сырья (Подкорытова и др., 1983; Суховеева, Подкорытова, 2006) и является весьма информативным показателем фенологического и физиологического состояния растений, активности протекающих у них обменных процессов, состояния окружающей среды (Аминина, 1995; Крупнова, 2002; Камнев и др., 2006).

Важнейшим компонентом органических веществ ламинариевых, как и других бурых водорослей, являются альгиновая кислота и ее соли — уникальные по своим свойствам полимерные соединения, не имеющие природных и синтетических аналогов. Их содержание у некоторых дальневосточных видов этого порядка может достигать 25–40% от общего количества сухих веществ (Кизеветтер и др., 1967; Бухрякова, Леванидов, 1969). У беломорских видов оно составляет в среднем 20% от сухого вещества (Репина и др., 2004), у камчатских — изменяется от 12 до 24% (Усов и др., 2001; Аминина, Клочкова, 2002).

Содержание минеральных веществ у ламинариевых подвержено значительным сезонным изменениям, и в определенные периоды вегетации оно, например у *S. japonica*, может достигать почти 1/3 от общего количества сухих веществ (Подкорытова и др., 1983).

Соотношение минеральных и органических веществ у ламинариевых, как и их общее содержание, в течение вегетационного сезона постоянно меняется. Весной доля первых в общем количестве сухих веществ обычно больше чем осенью, когда растения содержат большое количество синтезированных органических веществ, необходимых для формирования репродуктивных органов и успешного прохождения стадии зимнего покоя.

Изученный нами вид *Saccharina bongardiana*, ранее известный как *Laminaria bongardiana*, является одним из наиболее массовых представителей пор. *Laminariales* у Восточной Камчатки (Клочкова, Березовская, 1997). В российских водах он распространен также у Командорских и Курильских островов, где во многих местах образует промысловые заросли (Кусиди, 2006; Огородников, 2006).

Обсуждаемый вид характеризуется высокой экологической пластичностью и хорошо выраженной способностью к формообразованию. Он встречается на разных грунтах, в условиях разной прибойности, в широком диапазоне глубин: от литоральной зоны до нижней границы фитали. Благодаря хорошо выраженной способности к морфофизиологическим адаптивным перестройкам, он хорошо переносит условия высокого антропоген-

ного загрязнения (Клочкова, Березовская, 2001). Направления этих перестроек наиболее полно описаны в диссертационных работах Т.Н. Королевой (2004) и Л.Н. Саушкиной (2005), использовавших материалы, собранные в разных по экологическим условиям бухтах Авачинского залива, в том числе в Авачинской губе, испытывающей с середины прошлого столетия сильное антропогенное и техногенное загрязнение (Березовская, 1999).

Согласно данным, приведенным в работе Н.Г. Клочковой и В.А. Березовской (1998), состав и структура макрофитобентоса внутренней части губы к концу 90-х гг. претерпели коренные изменения. Пояс водорослей здесь резко сузился и стал прерванным, его видовое разнообразие сократилось почти на 2/3. Ранее произраставшие в Авачинской губе глубоководные представители родов *Laminaria* и *Saccharina* к настоящему времени исчезли или заметно сократили присутствие, однако *S. bongardiana* по-прежнему встречается во всей ее внутренней части, даже в местах с чрезвычайно высоким уровнем органического и металлического загрязнения.

Проведенные исследования показывают, что сезонное развитие *S. bongardiana* в любых условиях произрастания протекает в целом однообразно, но в неблагоприятной среде у нее изменяется продолжительность жизни, снижаются размерно-массовые показатели и физиологическая активность (Клочкова, Березовская, 2000; Королева, 2004; Клочкова и др., 2005; Саушкина, Клочкова, 2006; Саушкина, 2005). До сих пор об этих изменениях судили по данным изучения сезонных и помесечных изменений воды и сухих веществ. В данной работе впервые, наряду с помесечной динамикой этих показателей у *S. bongardiana*, представляются результаты изучения помесечных изменений содержания общего количества минеральных и органических веществ, а также альгиновых кислот.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для исследования собирали ежемесячно с апреля по октябрь 2011 г. в сублиторальной кайме во время сизигийных отливов у городского побережья Авачинской губы, в районе, расположенном у сопки Никольская. Согласно нашим исследованиям, *S. bongardiana* на данном участке побережья живет два года (Клочкова, Березовская, 2000, 2001). В состав проб включали только растения второго года жизни, поскольку они, независимо от продолжительности вегетации на первом году, после прохождения фазы зимнего покоя

развиваются достаточно синхронно, в отличие от растений первого года жизни, у которых появление спорофитной генерации достаточно растянуто во времени, и развитие разных по времени появления образцов, в связи с этим, протекает асинхронно. У всех содранных для исследования растений определяли размеры, массу и состояние зрелости.

Пробы для альгохимических анализов составлялись не менее чем из 5–6 наиболее обычных по размерам и морфологии образцов, относящихся к наиболее распространенной в Авачинской губе типовой форме вида — *S. bongardiana f. typica*. Их промывали в морской воде и очищали от обрастаний. Для определения среднего содержания воды, общего количества сухих, минеральных, органических веществ и альгиновых кислот готовили объединенную пробу из обсушенных фильтровальной бумагой высушек пластины площадью 10 см², взятых в ее нижней, средней и верхней частях и затем нарезанных на полоски шириной до 2 см. Смешанные полоски взвешивали для определения сырого веса пробы и помещали в сушильный шкаф с температурой 60–70 °С. Содержание в пробах воды определяли по ГОСТ 26185-84. Оно соответствовало разнице между массой пробы в сыром и воздушно-сухом состоянии.

Далее из высушенной пробы *S. bongardiana* брали две навески для определения стандартными методами (ГОСТ 26185-84) содержания в них минеральных веществ и альгиновых кислот. Органические вещества определяли как разницу между массой сухой навески, взятой на сжигание, и массой полученной из нее золы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфометрическое изучение собранных образцов *S. bongardiana* показало, что в районе, прилежащем к сопке Никольская, они характеризуются заметно выраженной ингибцией. Даже самые крупные из них едва достигают 80 см высоты. Их средняя длина в разные месяцы проведения исследований менялась от 40 до 60 см. Пластины были более тонкими, чем у растений, собранных в те же сроки в горле Авачинской губы и в чистых водах Авачинского залива. Они были также более расчлененными и имели обильное биообрастание.

Анализ полученных результатов показал, что сезонное развитие *S. bongardiana* сопровождается заметным изменением химического состава пластинчатой части слоевища. По данным более ранних исследований известно, что для этого вида

характерно наличие двух периодов активного роста — весеннего и осеннего. При этом весенний рост направлен в основном на увеличение размерных характеристик растений, а осенний — на накопление массы (Королева, 2004). У *S. bongardiana* хорошо выделяются следующие фазы развития: линейный рост, созревание, спорообразование, спороношение и подготовка к зимнему покою. На сроки протекания каждого фенологического развития большое влияние оказывают температура воды и длина дня. Переход из одной стадии развития в другую сопровождается морфолого-анатомическими и физиологическими изменениями (Саушкина, Клочкова, 2006). Одновременно в пластинах сахарины происходят заметные изменения содержания воды и сухих веществ (Королева, 2004).

Их соотношение в разные месяцы вегетации в изученных нами пробах *S. bongardiana* показано на рисунке 1. Представленные данные показывают, что в апреле, в период активного весеннего роста пластин, приводящего к увеличению площади их фотосинтетической поверхности, растения имеют самую высокую степень обводненности — 94,9%, поскольку большую часть пластин в это время образует молодая ткань. К маю содержание влаги в пластинах *S. bongardiana* уменьшается до 82,7%, поскольку в загрязненных местообитаниях этот вид быстрее, чем обычно, прекращает линейный рост и приступает к накоплению ассимилятов, необходимых для спорообразования.

В июне темпы накопления сухих веществ несколько снижаются, у растений, судя по нашим наблюдениям, в это время продолжается созревание внутренних тканей, выражающееся в разрастании медуллярной ткани. В конце июля, когда у *S. bongardiana*, казалось бы, должно было начаться формирование спорогенной ткани, ее пластины, вопреки известному для *S. bongardiana* сценарию развития, стали активно разрушаться и почти

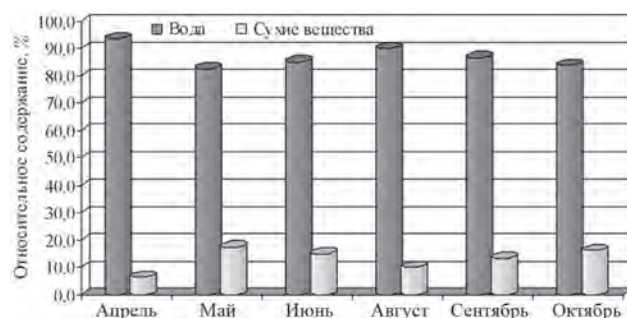


Рис. 1. Помесячные изменения относительного содержания воды и общего количества сухих веществ в пластинах *Saccharina bongardiana* с апреля по октябрь 2011 г.

вдвое уменьшились в длину. В августе у них вновь активизировался линейный рост. Это было видно по изменению текстуры и цвета пластин в месте расположения базальной меристемы. Повторная активизация ростовых процессов сопровождалась усилением обводненности пластин и уменьшением относительного содержания общего количества сухих веществ.

С сентября по октябрь, как это видно из рисунка 1, обводненность растений уменьшилась с 86,5 до 83,8% и увеличилось содержание сухих веществ. В целом колебания содержания у *S. bongardiana* воды за период апрель–октябрь изменялись в пределах 10,8%.

Летнее разрушение и повторный рост пластин привели в 2011 г. к значительной задержке сроков спороношения *S. bongardiana*. Так, если в другие годы (1999–2004 гг.) ее представители из внутренней части Авачинской губы накапливали необходимые для закладки фертильной ткани вещества к концу июня – июлю и в августе вступали в спороношение (Саушкина, 2005; Саушкина, Клочкова, 2006), то в 2011 г. закладка соросов спорангиев, созревание и высывание зооспор у *S. bongardiana* задержалось более чем на 1,5 месяца и началось только во второй половине октября.

Изменения в развитии *S. bongardiana*, имевшие место в 2011 г., не укладываются в обычный сценарий ее летне-осеннего развития в Авачинской губе. Для объяснения этого явления были проанализированы изменения весенне-летней температуры воздуха и количества солнечных дней. Анализ показал, что почти до конца апреля дневная температура воздуха не превышала +4 °С, в мае она составила в среднем 7,3 °С, а в июне — 11,6 °С. Ночная температура в эти месяцы была еще ниже. Эти погодные изменения были ниже среднестатистических температурных показателей.

Последовавшие в июле изменения дневной температуры воздуха и облачности заметно отличались от своих среднестатистических многолетних значений. Для периода с 01.07.2011 по 10.09.2011, совпавшего с периодом активного разрушения пластин, они показаны на рисунке 2, составленном по данным сайта Gismeteo. Видно, что со второй декады июля до первой декады августа и в течение третьей декады августа имело место резкое повышение температуры воздуха, до 22 °С в среднем в течение 4-й и 6-й представленных на рисунке 2 декад. В отдельные дни температура воздуха в августе 2011 г. поднималась до 27 °С.

Весь период высокого подъема температуры характеризовался малой облачностью, способству-

ющей прогреву воздуха, а вместе с этим и прогреву прибрежных вод. Полагаем, что именно аномально высокий их прогрев вызвал замедление развития *S. bongardiana* и разрушение ее пластин. У ламинариевых оно обычно сопровождается экскрецией накопленных веществ. Именно этим можно объяснить уменьшение содержания сухих веществ у изученного вида в августе (рис. 1). Для их экстренного увеличения у растений начался повторный линейный рост пластин, обусловивший увеличение площади фотосинтетической поверхности и повторное повышение обводненности тканей.

На рисунке 3 показана динамика изменений с апреля по октябрь у *S. bongardiana* относительно содержания воды, минеральных и органических веществ. Минеральные вещества, как известно, выполняют важную физиологическую роль. Они необходимы для поддержания клеточного и тканевого осмотического давления и образования буферных систем, служат переносчиками электронов в окислительно-восстановительных реакциях, входят в состав важных органических соединений, выполняют другие функции. Органические вещества включают в себя комплекс углеводов, азотсодержащие вещества, липиды, витамины и др. и выполняют запасную, структурную, регулирующие и другие жизненно важные функции (Клочкова, Березовская, 1997).

Из данных, представленных на рисунке 3, видно, что в разные месяцы вегетационного развития водоросли из загрязненного места обитания имели неповторимые количественные соотношения органических и минеральных веществ. Наибольшее содержание органических соединений у них приходится на май, а минеральных — на октябрь. В период активного весеннего и летнего линейно-

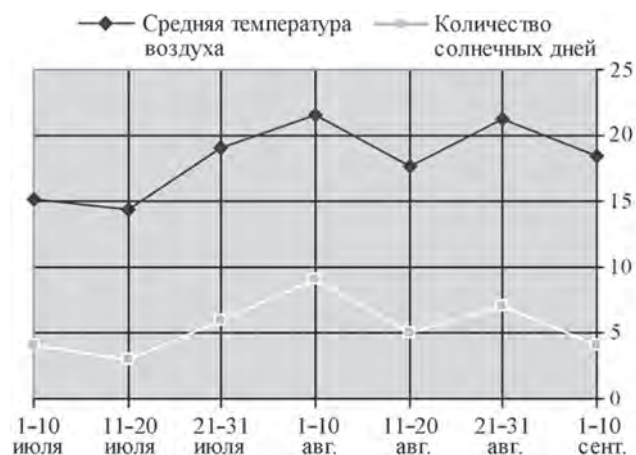


Рис. 2. Изменения средней для декады температуры воздуха и среднего для декады количества солнечных дней в период с 1 июля по 10 сентября 2011 г. в районе исследования

го роста содержание минеральных веществ в целом не высокое. В сентябре и особенно в октябре их количество увеличивается, что, видимо, позволяет растениям лучше адаптироваться к низким зимним температурам.

Соотношение органических и минеральных веществ у водорослей приведено в таблице 1. Оно, как это видно из представленных в ней данных, имеет хорошо выраженную динамику. Обращает на себя внимание усиленное накопление органических веществ в мае и высокое их содержание в августе, несмотря на имевшее место разрушение пластин.

Среди органических веществ ламинариевых основную долю составляют углеводы. Большая часть из них, до 55% от сухого вещества, представлена полисахаридами (Суховеева, Подкорытова, 2006). К ним относятся и альгиновые кислоты, выполняющие у бурых водорослей функцию матрикса клеточных стенок и межклеточной среды (Барашков, 1972).

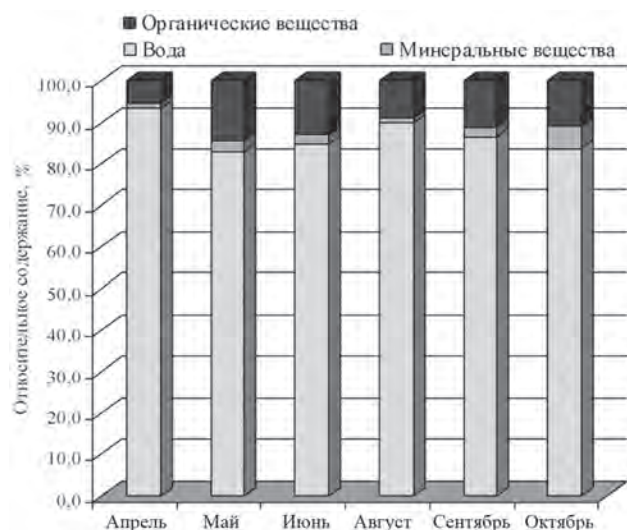


Рис. 3. Сезонные изменения относительного содержания у *Saccharina bongardiana* воды, минеральных и органических веществ

Таблица 1. Изменения содержания и соотношения органических и минеральных веществ у *Saccharina bongardiana* за период апрель–октябрь 2011 г.

Показатели	Месяц					
	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь
% органических веществ от общего количества сухих веществ	82,2	83,7	83,16	89,47	82,23	67,89
% минеральных веществ от общего количества сухих веществ	17,80	16,30	16,84	10,53	17,77	32,11
Соотношение органических и минеральных веществ	4,6 : 1	5,1 : 1	4,9 : 1	8,5 : 1	4,6 : 1	2,11 : 1

Таблица 2. Помесячные изменения содержания в пластинах *Saccharina bongardiana* альгиновых кислот

Показатель	Месяц					
	апрель	май	июнь	август	сентябрь	октябрь
Альгиновая кислота, %	16,6	32,6	34,0	43,1	28,7	30,9

При изучении макрофитов Баренцева моря была обнаружена зависимость между фотосинтетической активностью бурых водорослей и уровнем накопления у них альгиновой кислоты. Было показано, что она, как и многие другие полисахариды, выполняет также функцию запасного вещества, накапливающегося в летне-осенний период и расходующегося зимой (Воскобойников и др., 1998). Аналогичные данные по сезонной динамике изменения содержания альгиновых кислот были получены Н.М. Аминой (1995) для культивируемой *L. japonica*. Она показала, что их максимальное содержание приходится на август–сентябрь и составляет 30–37%, а к октябрю снижается до 30,9%. А.Н. Камнев с соавторами (2006) также считают, что в летний период растения успевают накопить запасные вещества в виде альгиновых кислот для стабилизации и упрочения клеточных стенок, а с наступлением осенне-зимнего периода медленно их расходуют.

Результаты наших исследований, приведенные в таблице 2, показывают, что в условиях антропогенного загрязнения и нарушения сезонного развития, вызванного аномальной температурой, сезонные изменения содержания у *S. bongardiana* альгиновых кислот в целом соответствуют таковым у других ламинариевых водорослей.

Из приведенных в таблице данных видно, что скачок в накоплении альгиновых кислот в условиях загрязнения приходится на период с апреля по май, когда их содержание почти удваивается. Далее к августу оно постепенно повышается с 32,60 до 43,10%. Столь высокое количественное содержание альгиновых кислот, большее, чем у растений из чистых местообитаний, объясняется особенностями метаболизма ламинариевых в среде с высоким органическим загрязнением.

В сентябре, когда значительная часть пластических веществ была использована растениями на

обеспечение роста пластин, содержание в них альгиновых кислот снизилось до 28,7%. В октябре во время осеннего пика роста, направленного на подготовку растений к зиме, содержание альгинатов увеличилось, однако уже не достигло летних значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что на развитие *S. bongardiana* в 2011 г. большое влияние оказало аномально высокое повышение температуры воздуха и воды во второй половине лета. Повышенный прогрев вод и увеличение солнечной радиации вызвали задержку развития и спороношения *S. bongardiana*. Кроме того, наши исследования показали, что в условиях высокого антропогенного загрязнения у представителей этого вида наблюдается более высокая обводненность пластин в течение всего периода вегетации, и доля альгиновых кислот в общем объеме сухих веществ в стрессовых условиях выше, чем в чистых местах обитания. Их повышенный синтез можно рассматривать как адаптационное приспособление растений к токсическому воздействию поллютантов, поскольку известно, что альгиновые кислоты способны связывать ионы тяжелых металлов и препятствуют проникновению в клетки других вредных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аминина Н.М. 1995. Особенности метаболизма ламинарии японской культивируемой: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 22 с.

Аминина Н.М., Клочкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки // Рыболовство России. № 1. С. 54–56.

Барашков Г.К. 1972. Сравнительная биохимия водорослей. М.: Пищ. пром-сть, 355 с.

Березовская В.А. 1999. Авачинская губа. Гидрохимический режим, антропогенное воздействие. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 156 с.

Бухрякова Л.К., Леванидов И.П. 1969. Химический состав ламинариевых Сахалино-Курильского района // Растительные ресурсы. Т. 5. Вып. 2. С. 183–187.

Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Облучинская Е.Д., Рыжик И.В., Малавенда С.В. 1998. Макрофиты Баренцева моря: биологические особенности и перспективы использования // Про-

мысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты: КНЦ РАН. С. 306–322.

ГОСТ 26185-84. 1985. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Введено 01.01.1985. М.: Госстандарт. С. 34.

Камнев А.Н., Савельев И.Б., Билан М.И., Усов А.И. 2006. Особенности возрастных изменений структурных и функционально-биохимических характеристик пластины бурой водоросли *Laminaria japonica* Aresch // Вестник МГУ. Сер. 16. Биология. № 2. С. 29–36.

Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищ. пром-сть, 407 с.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 1997. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток: Дальнаука, 143 с.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 1998. Изменения сублиторальных ассоциаций водорослей в Авачинской губе // Эколого-экономические проблемы рационального природопользования на Камчатке. Вып. 5. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ. С. 33–39.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 2000. Изменение стратегии жизненного цикла *Laminaria bongardiana* в неблагоприятных условиях // Тез. докл. Междунар. конф. «Современные средства использования водных биоресурсов». Т. 1. СПб.: Вега. С. 60–63.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. 2001. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. Владивосток: Дальнаука, 208 с.

Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. 2005. Накопление фитомассы и изменение толщины пластин у бурой водоросли *Laminaria bongardiana* P. et R. в разных экологических условиях // Популяционная биология, генетика и систематика гидробионтов: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Т. 1. М.: Россельхозакадемия. С. 363–369.

Коровкина Н.В., Богданович Н.И., Кутакова Н.А. 2007. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью дальнейшей переработки // Химия растительного сырья. № 1. С. 59–64.

Королева Т.Н. 2004. Развитие бурой водоросли *Laminaria bongardiana* P. et R. в прикамчатских водах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 28 с.

- Крупнова Т.Н.* 2002. Особенности развития спороносной ткани у ламинарии японской под воздействием изменяющихся условий среды // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 135. С. 474–482.
- Кусиди А.Э.* 2007. Биология развития некоторых видов рода *Laminaria* в прикамчатских водах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 24 с.
- Огородников В.С.* 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 24 с.
- Подкорытова А.В., Аминина Н.М., Симоконь М.В.* 1983. Сезонная динамика взаимодействия минеральных элементов с альгиновой кислотой в ламинарии японской // Изв. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 108. С. 84–90.
- Репина О.И., Муравьева Е.А., Подкорытова А.В.* 2004. Динамика химического состава промысловых бурых водорослей Белого моря // Тр. Всес. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 143. С. 93–99.
- Саушкина Л.Н.* 2005. Особенности морфологии бурой водоросли *Laminaria bongardiana* P. et R., связанные с ростом, размножением и условиями обитания: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 25 с.
- Саушкина Л.Н., Клочкова Н.Г.* 2006. Сезонные изменения морфологии бурой водоросли *Laminaria bongardiana* и рекомендации к ее промыслу // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. № 8. С. 107–112.
- Суховеева М.В., Подкорытова А.В.* 2006. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технологическая переработка. Владивосток: ТИПРО-Центр, 243 с.
- Усов А.И., Клочкова Н.Г., Смирнова Г.П.* 2001. Полисахариды водорослей. 55. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки // Биоорганическая химия. Т. 27. № 6. С. 444–448.
- Сайт Gismeteo [Электронный ресурс]: <http://www.gismeteo.ru>.