

УДК 582.26

## ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ *SACCHARINA BONGARDIANA* В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ

Потапов В.В.

ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга»,  
Петропавловск-Камчатский, e-mail: potapov@kscnet.ru

На камчатском шельфе *Saccharina bongardiana* является наиболее массовым видом ламинариевых водорослей и играет важную роль в формировании водорослевого пояса. Приведены данные по изменению возрастной структуры и размерно-весовых параметров популяции основного структурообразующего сублиторального вида *S. bongardiana* в условиях загрязнения. Исследования проводилось при помощи стандартных методов гидробиологических исследований. Были определены морфометрические параметры у растений *S. bongardiana* первого, второго и третьего годов жизни в различные периоды вегетации. Установлено, что под воздействием загрязнения у *S. bongardiana*, обитающей в Авачинской губе, изменилась и стратегия роста. Показано, что в условиях высокого загрязнения длина слоевищ и их масса значительно уменьшаются, изменяется соотношение численности разновозрастных генераций и происходит переход на более короткий цикл развития.

**Ключевые слова:** Авачинская губа, *Saccharina bongardiana*, водоросли, тяжелые металлы, загрязненность, концентрирование, размер, вес, возраст

## CHANGE IN THE DIMENSION-WEIGHTING PARAMETERS AND AGE STRUCTURE *SACCHARINA BONGARDIANA* IN AVACHINSKAYA BAY

Potapov V.V.

Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatskiy, e-mail: potapov@kscnet.ru

On Kamchatka shelf *Saccharina bongardiana* is the most common type of laminaria algae and plays an important role in the formation of algal belt. This work provide data on alteration in the age structure, sized and weighting parameters of major structural sublittoral species *Saccharina bongardiana* in pollution. The survey was conducted using standard methods of hydrobiological studies. Morphometric parameters were determined in plants *S. bongardiana* first, second and third years of life at different periods of the growing season. It was established that under the influence of pollution from *S. bongardiana*, inhabiting Avachinskaya bay changed and growth strategy. The research show that under conditions of high pollution thalli's length and weight significantly reduced, changes the ratio of strength of different generations and a transition to a shorter development cycle.

**Keywords:** Avachinskaya bay, *Saccharina bongardiana*, weed, heavy metals, contamination, concentration, size, weight, age

Авачинская губа находится на юго-востоке Камчатки. На ее берегах расположен город-порт Петропавловск-Камчатский, сосредоточен основной промышленный потенциал Камчатского края, поэтому она подвергается наиболее сильному антропогенному воздействию. В течение длительного времени большинство промышленных и хозяйственно-бытовых стоков поступало в губу практически без очистки, оказывая отрицательное воздействие на организмы, которые в ней обитали.

Живые организмы обладают огромным резервом к саморегуляции и нейтрализации негативного влияния. Изменения условий окружающей среды вызывают ответные, приспособительные реакции организмов, которые в ней обитают. Они проявляются в частности в изменении размерно-весовых параметров и сроков жизни отдельных особей.

### Материалы и методы исследования

Для изучения воздействия загрязнения на возрастную структуру и размерно-весовые параметры был выбран наиболее распространенный структурообразующий и устойчивый к загрязнению сублито-

ральный вид водорослей – *Saccharina bongardiana* (= *Laminaria bongardiana* – Ламинария Бонгарда). На камчатском шельфе *S. bongardiana* является наиболее массовым видом ламинариевых водорослей и играет важную роль в формировании водорослевого пояса.

Исследования проводились при помощи стандартных методов гидробиологических исследований. В сублиторальной зоне шельфа сбор водорослей осуществляли с борта маломерного судна с помощью водолазов. Глубину отбора проб фиксировали глубиномером. При подъеме водорослей на борт судна фиксировали условия их произрастания: прибойность, тип грунта, мутность и температуру воды. Определяли ширину растительного пояса и плотность произрастания водорослей.

Возраст у представителей рода *Saccharina* определяли по регистрирующим структурам: количеству колец на срезах черешка в его базальной части и количеству ярусов ризоидов. Учитывали также цвет, текстуру и морфологию слоевищ. Для определения морфобиологического состояния растений рода *Saccharina* у собранных образцов каждой возрастной группы определяли массу, общую длину слоевища, длину черешка, длину и максимальную ширину пластины.

Для определения особенностей сезонного и годового роста и развития растений *S. bongardiana* в пластинчатой части слоевища у 10–15 образцов, входящих в разновозрастную выборку, в центральной части пластины брали небольшие, 10x10 или 2x2 см,

участки – высечки, после чего определяли среднюю массу высечек у одновозрастных пластин, и рассчитывали среднюю массу на единицу площади пластины. Сравнение средних масс высечек из различных районов позволяло судить о физиологическом состоянии растений и изменениях, происходящих под воздействием неблагоприятных условий обитания.

### Результаты исследования и их обсуждение

*S. bongardiana* является очень пластичным организмом. У нее хорошо выражена как географическая, так и экологическая изменчивость. Экологическая изменчивость выражается в изменении размерно-весовых параметров слоевищ, сроков вегетации, развития органов размножения и т.д. [8–10]. Поскольку адаптивные реакции у организмов, которые проявляются как различные внешние изменения, происходят как в естественных условиях обитания, так и при антропогенном загрязнении, для определения воздействия загрязнения

необходимо установить в каких пределах происходит морфометрическая изменчивость *S. bongardiana* в естественных условиях обитания.

*S. bongardiana*, растущая у берегов юго-восточной Камчатки, имеет трехлетний жизненный цикл. У ювенильных спорифитов какое-то время сохраняется ровная и гладкая поверхность пластины. Позже на них могут появляться выпуклости и вогнутости, называемые булями. Нарастание пластинчатой части слоевища в длину осуществляется в результате активного деления меристематических клеток.

В результате проведения исследований в соседних с Авачинской губой бухтах Вилучинская и Саранная были определены морфометрические параметры у растений *S. bongardiana* первого, второго и третьего годов жизни в различные периоды вегетации [1]. На их основании были определены средние значения длины и массы слоевищ в каждый из периодов (таблица).

Сезонные изменения средней массы и длины слоевищ *S. bongardiana*

| Месяц    | Растения первого года жизни |           | Растения второго года жизни |           | Растения третьего года жизни |           |
|----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
|          | масса, г                    | длина, см | масса, г                    | длина, см | масса, г                     | длина, см |
| Июль     | 100                         | 120       | 430                         | 190       | 575                          | 185       |
| Август   | 150                         | 155       | 370                         | 160       | 450                          | 175       |
| Сентябрь | 230                         | 130       | 370                         | 140       | 360                          | 120       |
| Октябрь  | 300                         | 110       | 370                         | 100       | 270                          | 65        |

По мере роста у первогодних растений происходит и увеличение массы растений (таблица). Однако периоды, в которые растения достигают максимальной массы и максимальной длины, не совпадают. Нарастание массы происходит достаточно равномерно и постепенно в течение всего года. Максимальная масса у первогодок наблюдается в октябре (450 г), при ее средних значениях 300 г. Поэтому между изменением массы и длины растений в течение года существует как прямая, так и обратная корреляция.

Прямая корреляция (увеличение длины сопровождается увеличением массы) наблюдается с начала вегетации по июль включительно, а начиная с августа и до конца вегетационного периода, наблюдается обратная корреляция, поскольку при продолжающемся увеличении массы длина растений уменьшается. Таким образом, у растений первого года жизни с начала вегетации по октябрь происходит прирост массы, которая формируется за счет нарастания слоевища и увеличения содержания ассимилированных веществ. В то же время длина растений к осени несколько уменьшается и их размеры становятся меньше, чем у растений первого года. Это связано с более интенсивным разрушением

пластин в конце вегетационного сезона.

Особенностью развития второгодних растений является то, что в течение всего вегетационного сезона изменения массы у них слабо выражены, а с августа по конец октября она остается стабильно высокой. Поэтому в отличие от растений первого года жизни, между изменением длины слоевищ и массы в течение всего периода вегетации не наблюдается отрицательной корреляции, хотя, начиная с августа, положительная корреляция тоже не выражена. В этот период уменьшение длины растений не сопровождается ни уменьшением, ни увеличением массы. Стоит отметить, что у растений второго года жизни в конце вегетационного периода и средние, и максимальные значения массы остаются достаточно высокими и значительно превышают эти показатели у растений первого и третьего годов жизни.

У растений третьего года жизни по июль включительно изменения длины аналогичны изменениям длины у второгодних растений. Однако, начиная с августа, процессы разрушения пластин у них протекают более интенсивно. К октябрю их средние размеры составляют всего 65 см, при максимальных 75 см. Отличительной особенностью этого

периода является то, что длина растений изменяется в очень небольших пределах, от 50 до 75 см. Это значительно меньше, чем у растений первого и второго годов жизни.

У растений третьего года средняя масса растений с июня по октябрь постепенно снижается с 575 до 270 г. Их максимальная масса в октябре составляет 350 г, что ниже соответствующих значений максимальных масс растений не только второго, но даже и первого года жизни. Самую большую среднюю массу (575 г) *S. bongardiana* имеет на третьем году жизни в июле. Максимальная масса в этот период у нее может достигать 1140 г, при максимальной длине слоевища 300 см. При этом максимальная масса растений второго года жизни несколько выше – 1220 г. Она достигает такого значения в конце июля.

Сравнение изменения длины слоевищ у разновозрастных растений показывает, что в июле наибольшие средние размеры имеют растения второго и третьего годов жизни (190 и 185 см). Средняя длина растений первого года жизни в это время составляет 120 см. В августе длина растений второго и третьего годов несколько уменьшается – до 160 и 175 см, соответственно. В это время растения первого года жизни еще продолжают свой рост, и их средняя длина достигает наибольшего значения именно в августе – 160 см. В октябре длина растений всех возрастов уменьшается. При этом максимальное уменьшение длины наблюдается у растений третьего года жизни, а минимальное у растений первого года жизни. В этот период длина годоводок больше, чем у растений второго и третьего годов жизни. У растений первого года она равна 110 см, второго года 95 см и третьего года 65 см.

Полученные данные показывают, что растения первого, второго и третьего годов жизни имеют разную стратегию линейного роста. У растений первого и последнего годов жизни наблюдаются противоположные тенденции изменения средней массы и средней длины слоевища. Это свидетельствует о том, что период активного роста у растений первого года жизни более длинный. Он заканчивается только в августе, в то время как у растений остальных возрастных групп – в июле. Еще более интересен для понимания стратегии развития вида факт, что растения первого и второго годов жизни в октябре сохраняют более половины своей длины, в то время как растения третьего года сохраняют ее не более чем на 1/3.

Сравнительный анализ сезонных изменений средней массы и длины растений показывает, что в первый год вегетации растения реализуют программу развития, направленную на максимальный рост и накопление массы. Растения второго года жизни не толь-

ко накапливают и усиленно поддерживают свою массу на стабильно высоком уровне, но и обеспечивают воспроизводство популяции, поскольку они активно размножаются в течение всего позднелетнего и осеннего периода. Стратегией развития растений третьего года жизни становится обеспечение программы максимального воспроизводства. Для этого полностью используются все внутренние резервы растений и к концу вегетации они теряют жизнеспособность.

У подавляющего большинства представителей флоры, растущих в Авачинской губе в условиях антропогенного загрязнения, наблюдаются изменения на организменном уровне. Они выражаются, в частности, в изменении размерно-весовых параметров и физиологического состояния растений [7]. Наиболее полные данные по воздействию загрязнения на рост и развитие водорослей были получены для *Saccharina bongardiana* [2, 3, 4–7]. К тому времени, когда водорослевый пояс в сублиторальной зоне сократился до 1,5–2,5 м, основную массу микропопуляции стали составлять растения первого года жизни и растения, пережившие зиму в ювенильном возрасте, и начавшие свое развитие во втором вегетационном сезоне. Их высота не превышала 25–35 см.

В Авачинской губе растения третьего года жизни перестали встречаться у городского побережья к началу девяностых годов. В 1994 г. они исчезли из всей внутренней части. В настоящее время обитающая в губе популяция *S. bongardiana* перешла на двухлетний цикл развития. Одновременно в популяции резко возрастает доля сеголеток и плотность зарослей увеличивается. В самых загрязненных районах наблюдается исчезновение не только трехлетних, но и почти всех двулетних растений. При этом отмечались случаи вступления в спороношение сеголеток, пластины которых достигали всего лишь 20–25 см длины и 3–5 см ширины. Изменения возрастной структуры популяций водорослей являются универсальной адаптивной реакцией, обуславливающей их устойчивость [1, 7].

Установлено, что под воздействием загрязнения у *S. bongardiana*, обитающей в Авачинской губе, изменилась и стратегия роста. Если в чистой среде наиболее интенсивный линейный рост слоевищ наблюдается на втором году жизни, то в условиях загрязнения это происходит на первом году жизни. Увеличение линейных параметров за счет недоразвития внутренних тканей обеспечивает растениям увеличение фотосинтетической поверхности пластин. На втором году жизни стратегия развития растений направлена на обеспечение максимального

воспроизводства. К концу второго года вегетации, после завершения спороношения, слоевища разрушаются.

При сравнении средних размеров *S. bongardiana* из районов Авачинской губы с разным уровнем загрязнения видно, что в большинстве районов длина растений первого года жизни значительно уменьшилась. У второгодочек это наблюдалось только у растений, растущих у входа в б. Раковая. Слоевища *S. bongardiana*, собранные у м. Северный, имели высоту около 40 см. Все образцы были грубые, корявые, с толстым черешком и сильным неприятным запахом. Вблизи м. Западный растения были около 70 см высоты, но их заросли имели аномально высокую плотность. Произошло уменьшение средних масс как однолетних, так и двулетних растений.

Сравнительное изучение массы слоевищ *S. bongardiana* показывает, что одновозрастные растения из разных районов побережья Авачинской губы имеют разную плотность тканей и удельную массу пластин, которая определяется по массе определенной площади (высечки). У растений второго года жизни в зависимости от места произрастания средняя масса высечки пластины площадью 100 см<sup>2</sup> сильно изменялась. Так в горле губы, у м. Вилкова, она составила 11 г, у входа в б. Раковая, со стороны п-ова Завойко, – только 4 г, а в бухте Саранной в тот же период равнялась 18 г.

Интересно отметить, что в районе расцеивания аэрируемых вод у м. Сероглазка удельная масса пластины, как и в горле губы, была равна 11 г. Размерно-весовые характеристики растений из Авачинской губы значительно отличаются от таковых у растений из чистых мест обитания. В условиях загрязнения масса взрослых растений снижается по сравнению с их массой в чистых местах в 3–4, а длина в 2–3 (6) раза.

Таким образом, изучение воздействия загрязнения на *S. bongardiana* позволяет сделать следующие выводы: 1) в условиях высокого хронического загрязнения длина слоевищ может уменьшиться в 2–3 (6), а масса в 3–4 раза; 2) размножение и активный рост начинается в более ранние сроки; 3) изменяется соотношение численности разновозрастных генераций и происходит переход на более короткий цикл развития.

#### Список литературы

1. Березовская В.А. Макрофитобентос как показатель состояния среды в прибрежных водах Камчатки. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – Владивосток, 2002. – 49 с.
2. Березовская В.А. Структурный отклик популяций *Laminaria bongardiana* и *Fucus evanescens* на загрязнение среды // Проблемы современного естествознания. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2002. – С. 13–17.
3. Березовская В.А. О возможности использования макрофитобентоса при оценке экологического состояния морских прибрежий // Водное хозяйство России. – 2003. – Т. 5. № 2. – С. 117–126.

4. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Антропогенная трансформация морской бентосной растительности в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Тез. докл. всероссийского съезда «Растения в умеренном климате». – Владивосток : Дальнаука, 1998. – С. 129–131.

5. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Изменения сублиторальных ассоциаций водорослей в Авачинской губе // Эколого-экономические проблемы рационального природопользования Камчатки. – Петропавловск-Камчатский : КГАРФ, 1998. – Вып. 4. – С. 33–38.

6. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Изменение стратегии жизненного цикла *Laminaria bongardiana* в неблагоприятных условиях среды // Тез. докл. конф. «Современные средства воспроизводства и использования водных биоресурсов «Ирыбпром-2000». – С-Пб., 2000. – Т. 1. – С. 60–63.

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

8. Gorostiaga J.M., Santolaria A., Secilla A., Diez I. Sublittoral benthic vegetation of the eastern Basque coast (N. Spain): Structure and environmental factors // Botanica Mar., 1998. – V. 41, №. 5. – P. 455–465.

9. Graham M.H. Effect of high irradiance on recruitment of the giant kelp *Macrocystis (Phaeophyta)* in shallow water // J. Phycol., 1997. – V. 32, N. 6. – P. 903–906.

10. Sivertsen K. Geographic and environmental factors affecting the distribution of kelp beds and barren grounds and changes in biota associated with kelp reduction at sites along the Norwegian coast // Canadian J. of Fish. and Aqua. sciences. – 1997. – V. 54, №. 12. – P. 2872–2887.

#### References

1. Berezovskaya V.A. Makrofitobentos как pokazatel' sostoyaniya sredy v pribrezhnykh vodakh Kamchatki [Macrophytobenthos as an indicator of the state of the environment in the coastal waters of Kamchatka]. Avtoref. dis. ... dokt. geogr. nauk. Vladivostok, 2002. 49 p.

2. Berezovskaya V.A. Strukturnyy otklik populyatsiy *Laminaria bongardiana* i *Fucus evanescens* na zagryaznenie sredy [Structural response of populations *Laminaria bongardiana* and *Fucus evanescens* on pollution] // Problemy sovremennogo estestvoznaniya. Petropavlovsk-Kamchatskiy, KamchatGTU, 2002. P. 13–17.

3. Berezovskaya V.A. // Vodnoe khozyaystvo Rossii, 2003. V. 5. № 2. P. 117–126.

4. Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. Antropogennaya transformatsiya morskoy bentosnoy rastitel'nosti v Avachinskoy gube (yugo-vostochnaya Kamchatka) [On the possibility of the use of macrophytes in the assessment of the ecological status of coastal marine] // Tez. dokl. vserossiyskogo s'ezda «Rasteniya v umerennom climate». Vladivostok, Dal'nauka, 1998. P. 129–131.

5. Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. Izmeneniya sublitoral'nykh assotsiatsiy vodorosley v Avachinskoy gube [Changes in subtidal algal associations in Avachinskaya Bay] // Ekologo-ekonomicheskie problemy ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya Kamchatki. Petropavlovsk-Kamchatskiy, KGARF, 1998. no. 4. P. 33–38.

6. Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. Izmenenie strategii zhiznennogo tsikla *Laminaria bongardiana* v neblagopriyatnykh usloviyakh sredy [Changing life cycle strategy *Laminaria bongardiana* in adverse environmental conditions] // «Sovremennye sredstva vosproizvodstva i ispol'zovaniya vodnykh biorezursov «Inrybprom-2000». S-Pb., 2000. V. 1. P. 60–63.

7. Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. Makrofitobentos Avachinskoy guby i ego antropogennaya destrukttsiya [Macrophytobenthos Avachinskaya Bay and its man-made destruction]. Vladivostok, Dal'nauka, 2001. 208 p.

8. Gorostiaga J.M., Santolaria A., Secilla A., Diez I. // Botanica Mar., 1998. V. 41, N. 5. P. 455–465.

9. Graham M.H. // J. Phycol., 1997. V. 32, N. 6. P. 903–906.

10. Sivertsen K. // Canadian J. of Fish. and Aqua. sciences, 1997. V. 54, no. 12. P. 2872–2887.

#### Рецензенты:

Кузякина Т.И., д.б.н., профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

Сердан А.А., д.х.н., профессор, ведущий научный сотрудник кафедры химии нефти и органического катализа Химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 02.09.2014.