

Федеральное агентство научных организаций
Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН
Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН
Российский фонд фундаментальных исследований

МОРСКИЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием,
приуроченная к 145-летию
Севастопольской биологической станции*

Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.

Сборник материалов

Том 3

Севастополь
ЭКОСИ-Гидрофизика
2016

УДК 574.5(063)
ББК 28.082.14
М 80

Редакторы: д.б.н. И.В. Довгаль

Морские биологические исследования: достижения и перспективы :
М 80 в 3-х т. : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.В. Гаевской. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. – Т. 3. – 493 с.
ISBN 978-5-9907936-5-1
ISBN 978-5-9907936-8-2 (том 3)

Сборник подготовлен на основании материалов докладов, представленных на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. В третий том вошли статьи по радиохемозкологии; проблемам загрязнения и биоиндикации качества водной среды; рациональному природопользованию, особо охраняемым природным территориям и акваториям; морским биологическим ресурсам; биотехнологии и аквакультуре.

УДК 574.5(063)
ББК 28.082.14

Marine biological research: achievements and perspectives: in 3 vol. : Proceedings of All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation dedicated to the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station (Sevastopol, 19–24 September, 2016) / Ed. A.V. Gaevskaya. – Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2016. – Vol. 3. – 493 p.

Proceedings were prepared on the basis of reports submitted to the All-Russian scientific-practical conference with international participation dedicated to the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station. The third volume includes articles on radioecology, the problems of pollution and the bio-indication of water quality; rational use of natural resources, marine and terrestrial protected areas; marine biological resources, biotechnology and aquaculture.

Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-04-20627)

Оргкомитет конференции не несет ответственности
за оригинальность и достоверность подаваемых авторами материалов

Печатается по решению ученого совета
Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН
(протокол № 7 от 24.06.2016 г.)

ISBN 978-5-9907936-5-1
ISBN 978-5-9907936-8-2 (том 3)

©Авторы статей, 2016
©Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, 2016
©Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, 2016

**ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *SACCHARINA LATISSIMA*
В УСЛОВИЯХ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ АКВАРИАЛЬНОЙ
И ВЛИЯНИЕ ЛАМИНАРИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ НА ЕЕ РОСТ**

А. И. Раилкин¹, Ю. В. Наконечный², А. Ю. Наконечный³

¹ БиоМорЗащита, Санкт-Петербург, РФ, railkin@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, РФ

³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики, Санкт-Петербург, РФ

Изучение вопросов влияния турбулентности среды на рост водорослей актуально для марикультуры. Цель исследования заключалась в том, чтобы воспроизвести жизненный цикл бурой водоросли *Saccharina latissima* в условиях континентальной аквариальной и изучить влияние на ее рост ламинарного и турбулентного потоков. Решение второй задачи достигнуто с использованием специальных гидродинамических установок. Показана возможность получения в континентальной аквариальной, удаленной от моря на 1000 км, всех стадий жизненного цикла вплоть до размножения водорослей. Установлено положительное влияние ламинарного потока на рост *S. latissima*, что может быть использовано в практике марикультуры.

Ключевые слова: ламинария, жизненный цикл, рост, влияние ламинаризации потока

Хорошо известно, что морские водоросли являются объектами марикультуры. На рост водорослей в природных условиях кроме прочих влияют гидродинамические факторы, в первую очередь скорость течения и турбулентность [1]. Исследовать их воздействие в море при одинаковых или хотя бы сходных условиях достаточно затруднительно. По имеющимся данным аквариальных исследований [1], скорость роста бурой водоросли *Fucus vesiculosus* была достоверно выше в более турбулизированной среде. По другим наблюдениям [2], в Баренцевом море в куту губы Дальнезеленецкой с относительно слабым движением воды размер талломов водорослей *Laminaria saccharina* (*Saccharina latissima*) и *L. digitata* был больше, чем в проливе, во входе в эту губу, в прибойном месте с интенсивным движением воды. При культивировании *Saccharina latissima* на горизонтально натянутых веревках и одновременно на вертикальных установках гирляндного типа установлено, что площадь слоевищ и их масса больше на горизонтальных субстратах, скорее всего, в условиях более слабой гидродинамики [3]. В связи с актуальностью вопроса о влиянии турбулентности на выращивание ламинарий, цель настоящей работы заключалась в разработке методических подходов и проведении исследований в этом направлении на водоросли *S. latissima*. Поставлены и решены две основные задачи. Первая состояла в изучении возможности доставки жизнеспособными фертильных частей этой водоросли в морскую аквариальную, значительно удаленную от места сбора, их продолжительного содержания в ней, получения посевного материала и дальнейшего выращивания. Вторая задача заключалась в том, чтобы исследовать влияние турбулентности на рост этой водоросли.

Сбор водорослей *S. latissima* осуществляли во второй половине сентября 2007 и 2010 гг. в губе Чупа (Кандалакшский залив, Белое море) рядом с полуостровом Матренин. Фертильные водоросли со зрелыми спороносными пятнами доставляли в лабораторию, вырезали участки спороношения и доставляли их при температуре около +10 °С в течение 3 суток в континентальную аквариальную (С.-Петербург, Старый Петергоф),

удаленную от места сбора на 1000 км. Там их помещали в объем около 100 л с умеренным барбатируванием при температуре +8 °С. С использованием компьютерной программы PhotoShop определяли площадь спороносных пятен. Споры для засева шероховатых пластин из оргстекла (размером 5×10 см) получали по методу подсушивания кусочков талломов со спороносными пятнами с их последующим погружением в морскую воду [4], в результате наблюдался выход зооспор. Количественно его оценивали с использованием камеры Горяева. Микроскопически при увеличении 600х и использовании водно-иммерсионного объектива 40х контролировали засев и последующее развитие спор. Пластины с развивающимся материалом помещали в аквариумную систему объемом 750 л с протоком и очисткой воды [5]. Периодически регистрировали параметры роста водорослей: размеры слоевища, а в опытах 2010–2011 гг. – также вес водорослей по окончании выращивания. Для изучения влияния турбулентности на их рост аквариум (объемом 100 л) в поперечном направлении перегородивали перфорированной решеткой, изготовленной из пищевого полистирола. Порядок расположения и размеры перфораций были рассчитаны таким образом, чтобы усреднить скорость течения в аквариуме по горизонтали и вертикали. Скорость течения, измеренная с помощью трубки Пито, составляла 4 см/с. За поперечной решеткой размещали турбулизирующие и ламинаризирующие установки [1], рассчитанные теоретически и апробированные в аэродинамической трубе, которая по своим скоростным характеристикам соответствовала диапазону скоростей течения, наблюдаемому в море. Пластины с посевным материалом, собранные в кассеты, в горизонтальном положении размещали на расстоянии 1 см непосредственно за гидродинамическими установками. По мере роста контролировали длину и ширину слоевища на выборке из 20–30 и более экземпляров водорослей с помощью микроскопа МБС-9 или измерительной линейки, после чего пластины с водорослями возвращали в аквариумы. Площадь слоевища рассчитывали в соответствии с рекомендациями [3]. В опытах 2010–2011 гг. определяли также сухой вес слоевища, стволика, ризоидов и всей водоросли.

Сохранная доставка спороносного материала и его успешное содержание в условиях континентальной морской аквариальной в течение более чем 1 месяца позволили получать неоднократные посевы, дальнейшее развитие, рост и естественное спороношение *S. latissima* в возрасте более полутора лет. Использование компьютерной программы PhotoShop обеспечило определение с высокой точностью площади каждого спороносного пятна и, с учетом данных по концентрации подвижных спор и объема, в который они вышли, их продукции (табл. 1). Расчеты показали, что с каждого см² площади пятна в среднем выходит 3–4 млн спор, что соответствует известным литературным данным [6].

Табл. 1. Продукция спор ламинарий *S. latissima* в условиях континентальной аквариальной

№ п/п	Суммарная площадь группы спороносных пятен (см ²)	Концентрация спор в суспензии, тысяч/см ³	Объем выборки, см ³	Выход спор, млн/см ²
1	400	3550	400	3,6
2	190	2750	320	4,6
3	200	2000	360	3,2
4	180	2000	360	4,0
5	280	1750	380	3,7
6	320	4250	370	4,7
7	330	3000	345	3,1

Наблюдение и контроль за дальнейшим развитием спор показали, что в условиях континентальной аквариальной происходит образование гаметофитов и спорофитов, их рост и размножение. Результаты экспериментов с гидродинамическими решетками, сглаживающими или усиливающими турбулентность, показывают, что ее снижение ускоряет рост ламинарий (табл. 2). Такая же тенденция наблюдается и в отношении стволика и общих размеров водорослей. Большая ошибка средних величин площадей слоевищ во всех случаях связана с неравномерным характером роста разных водорослей в условиях экспериментов. Вес слоевищ, стволиков и общий вес растений *S. latissima* в ламинаризованных условиях оказался почти в 2 раза больше, чем в контроле и при турбулентности. Однако вес ризоидов, напротив, был больше у водорослей, выросших под действием турбулизирующей установки, что, очевидно, свидетельствует об адаптации к прикреплению в более жестких условиях повышенной турбулентности.

Табл. 2. Средняя площадь слоевищ (в мм²; для 17 месяцев в см²) водоросли *S. latissima*, растущей в континентальной аквариальной (опыты 2007–2009 гг.)

Период роста, месяцы	Ламинаризирующая установка	Контроль	Турбулизирующая установка
4	3,0 ± 0,9	2,4 ± 0,4	2,9 ± 0,8
7	8,6 ± 1,6	6,9 ± 1,1	3,7 ± 0,7
17	24,7 ± 11,4	17,1 ± 8,5	17,3 ± 8,8

Важно отметить, что в условиях континентальной аквариальной через 1,5–2 года произошло размножение водорослей, скорее всего, тех из них, которые достигли наибольших размеров, т. е. росли в условиях пониженной турбулентности. Это было обнаружено по образованию видимых глазом групп спорофитов (по 30–40 экз.) размером до 5 мм, появившихся на стенке соседнего аквариума в общей проточной системе.

Объяснить эффект усиления роста в случае ламинаризованного течения достаточно затруднительно. Возможно, дело в том, что питательные (минеральные и органические) вещества из морской воды накапливаются в слизистом наружном слое водоросли, а турбулентный режим обтекания усиливает их вымывание и тем самым тормозит питание и, соответственно, рост по сравнению с ламинарным обтеканием. Возможно также, что турбулентные вихри несколько ослабляют свет, достигающий поверхности водорослей, и тем самым снижают фотосинтетическое питание.

Важно обратить внимание на то, что установленный нами экспериментально факт лучшего роста ламинарий в условиях менее турбулизированной среды, о чем косвенно свидетельствуют также некоторые литературные сведения, полученные при наблюдениях как в природной обстановке [2], так и в условиях искусственного выращивания [3], может быть использован для марикультуры ламинарий. В соответствии с полученными данными, ее плантации следует располагать в местах, защищенных от волнения и имеющих более ламинаризованное течение. Способ определения степени турбулентности в полевых условиях без специальной аппаратуры приведен в [1].

Выводы. 1. Показана успешность транспортировки фертильных частей бурой водоросли ламинарии *Saccharina latissima* на расстояние 1000 км в течение 3 суток с сохранением возможности получения жизнеспособных спор и длительного (в течение более чем месяца) периода их продукции и последующего развития. **2.** Прослежены все стадии развития ламинарии, что доказывает возможность воспроизведения в искусст-

венных условиях ее полного жизненного цикла, включая размножение. **3.** Экспериментально установлено, что пониженная турбулентность усиливает рост ламинарий. **4.** Рекомендовано размещать плантации с ламинариями в биотопах с пониженной турбулентностью.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» Санкт-Петербургского государственного университета.

1. Раилкин А. И., Бесядовский А. Р., Примаков И. М., Колдунов А. В. Взаимодействие прибрежных бентосных сообществ Белого моря с придонным слоем. – СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. 408 с.
2. Макаров М.В. Изменение белкового состава ламинарии под влиянием факторов внешней среды // Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. С. 128–153.
3. Петейро С., Фрейре О. Влияние разных методов культивирования на качество слоевищ морской капусты *Saccharina latissima* (Phaeophyta: Laminariaceae) из Галисийской бухты (северо-западная Испания) // Биология моря. 2011. Т. 37, № 4. С. 308–312.
4. Блинова Е. И., Макаров В. Н. (составители). Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии сахаристой в двухгодичном цикле в Баренцевом море. Москва: ВНИРО, ММБИ, 1987. 35 с.
5. Раилкин А. И., Чикадзе С. З., Никитин О. М., Гагаринова Н. Г., Фролов К. Б. Холодноводный морской аквариальный комплекс Биологического института С.-Петербургского университета: принципы создания и итоги первого года функционирования // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3. 2006. Вып. 4. С. 3–9.
6. Петров Ю. Е. Ламинариевые и фукусовые водоросли морей СССР (морфология, экология, филогения, систематика): дис. ... докт. биол. наук. Л, 1975. 273 с.

THE LIFE CYCLE OF THE BROWN ALGAE *SACCHARINA LATISSIMA* IN A CONTINENTAL AQUARIAL AND THE INFLUENCE OF LAMINARIZED FLOW ON ITS GROWTH

A. I. Railkin¹, Ju. V. Nakonechny², A. Ju. Nakonechny³

¹ BioMarDefense, Saint-Petersburg, RF, railkin@yandex.ru

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, RF

³ Saint-Petersburg Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
Saint-Petersburg, RF

The study of hydrodynamic factors influence on the algal growth is actual for mariculture. The goal of the present work was to reproduce the life cycle of the brown algae *Saccharina latissima* in continental aquarial and to study the influence of the laminar and turbulent flows on its growth. Special hydrodynamic devices were used to change the turbulence of flows in aquariums with laminaria. The possibility of the whole life cycle reproduce of *S. latissima* in continental aquarial which was on the distance of 1000 km from the White Sea was shown. The positive influence of laminar flow on its growth was established.

Key words: laminaria, life cycle, growth, laminar and turbulent flows