

УДК 582.272:577.114:543.062

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ФУКУСА ПУЗЫРЧАТОГО *FUCUS VESICULOSUS* L.

© *Е.Д. Облучинская*

*Мурманский морской биологический институт (ММБИ) Кольского научного центра РАН, ул. Владимирская, 17, Мурманск, 183010 (Россия)
e-mail: okaterine@yandex.ru*

Исследовано влияние факторов внешней среды – солёности и интенсивности движения воды на содержание полисахаридов бурой водоросли фукус пузырчатый.

Изученные факторы влияют сильнее всего на содержание ламинарана, слабее всего – на содержание фукоидана, а изменения содержания альгината занимают промежуточное положение. Тем не менее наибольшие значения для фукоидана и альгината найдены в случае наименьшей солёности и интенсивности движения воды, тогда как для ламинарана наблюдается обратная закономерность. Эти наблюдения целесообразно учитывать при выборе мест для культивирования или заготовки водорослей с целью получения альгината и фукоидана. Нами установлено, что колебания солёности 12–25‰ и интенсивность движения воды 0,012–0,007 мг·г/ч являются оптимальными для накопления альгиновой кислоты и фукоидана, что характерно для мест защищенного берега с впадающими ручьями.

Ключевые слова: полисахариды бурых водорослей, фукоиды Баренцева моря, факторы внешней среды, солёность, интенсивность движения воды, альгиновая кислота, фукоидан, ламинаран.

Введение

Бурые водоросли и, в частности, фукоиды являются природными источниками ценных «морских» полисахаридов – альгинатов, фукоиданов, ламинаранов. Полисахариды бурых водорослей используются в медицинской и пищевой промышленности, сельском хозяйстве и химической отрасли [1]. Водоросли, как сырьё природного происхождения, отличаются изменчивостью химического состава, в том числе и содержания полисахаридов.

Известно, что синтез полисахаридов каждого вида определяется условиями произрастания или культивирования водорослей, т.е. освещённостью, интенсивностью движения воды, степенью прибойности, солёностью, температурой, типом субстрата, а также онтогенетическими факторами. В природных условиях выявить вклад каждого из этих факторов – крайне сложная задача. И все же необходимо найти подходы для ее решения, ведь водоросли являются важными сырьевыми ресурсами.

Фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* L.) – широко распространенный вид фукусовых водорослей. Он произрастает в Баренцевом, Белом, Балтийском морях, обладает высокой способностью адаптироваться к самому широкому диапазону условий окружающей среды [2]. Обитает в приливно-отливной зоне, доступен для заготовки в любое время года (на побережье Баренцева моря). По фитохимическому составу, в том числе по содержанию полисахаридов, не уступает традиционным видам водорослевого сырья.

Ранее нами было показано [3], что фукус пузырчатый с побережья Баренцева моря характеризуется высоким содержанием фукоидана в течение всего года, наибольшим количеством альгиновой кислоты в летне-осенний период и является самым перспективным сырьём для получения полисахаридов среди фукоидов Баренцева моря. В ходе наших дальнейших исследований было установлено, что содержание полисахаридов у фукуса пузырчатого непостоянно при сборе проб в разных местах произрастания.

На основании многолетних исследований, проведенных в Мурманском морском биологическом институте, по изучению биологии и физиологии бурых водорослей, а также условий их произрастания, нами сделана попытка оценить влияние солёности и интенсивности движения воды (ИДВ) на накопление полисахаридов фукуса пузырчатого Баренцева моря, что и является целью данной работы.

Экспериментальная часть

Для решения поставленной задачи были выбраны пробные площадки с одинаковым типом субстрата, освещенностью и температурой, на которых исследования водорослей проводятся сотрудниками лаборатории альгологии ММБИ более 40 лет [4–6]. Освещенность и температура экспериментальных площадок подробно охарактеризованы в работах наших коллег [5]: интенсивность фотосинтетически активной радиации варьирует от 280–370 Вт/м² в солнечные дни до 80–140 Вт/м² в пасмурные дни в летний период. Средняя температура в районах сбора водорослей в июле составляет 8–10 °С. Следует отметить, что экспериментальные площадки располагаются друг от друга на расстоянии не более 5 км.

Значения солености и ИДВ данных участков также хорошо изучены [6]. Интенсивность движения воды определена методом гипсовых шаров, впервые предложенным К.М. Хайловым с соавторами [7]. Метод заключается в оценке скорости растворения гипсовой смеси в морской воде, из которой изготовлены стандартизованные шары, и в последующем расчете интенсивности движения воды по найденной скорости.

Соленостный режим в местах сбора водорослей зависит прежде всего от приливно-отливных явлений, а также от наличия пресных стоков. Вдоль всего мурманского берега Баренцева моря наблюдаются хорошо выраженные полусуточные приливы, когда дважды в сутки происходят приливы и отливы, вследствие чего изменяются и значения солености морской воды. Так, водоросли на изучаемых нами площадках 5, 6, 7 и 8 подвергаются воздействию распреснения 2 раза в сутки. Вносит свой существенный вклад в изменение солености и сезонная периодичность.

Фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* L.) был собран в губах Дальнезеленецкой и Ярнышной Восточного побережья Баренцева моря в июле 2009 г. Воздушно-сухие водоросли, принадлежащие к одной возрастной группе 4+–7+, были измельчены и определены количественные показатели по известным методам. Альгиновую кислоту (АК) и фукоидан (Ф) определяли по методу А.И. Усова и др. [8], ламинаран (Л) – по глюкозо-оксидазному методу [9].

Результаты и обсуждение

Результаты исследований по влиянию солености и ИДВ на содержание полисахаридов фукуса пузырчатого представлены на рисунках 1–3.

Содержание альгиновой кислоты. Минимальное содержание АК (рис. 1) обнаружено у водорослей из бухты Прибойная (площадка 1), которая характеризуется стабильной морской соленостью и самым высоким значением ИДВ с высокой прибойностью. Вероятно, такое сочетание исследуемых факторов не способствует накоплению АК.

Количественные значения АК у водорослей с площадок 2, 3 и 4 близки и характерны для данного времени года. Возможно, это связано со сходными уровнями исследуемых факторов – солености и ИДВ, воздействующих на водоросли на этих участках литорали.

Высокое содержание АК отмечено для водорослей с площадки 5, которая характеризуется колебаниями солености от 25 до 30‰, а также более низкими значениями ИДВ, чем предыдущие участки.

При дальнейшем снижении показателей ИДВ и солености наблюдается некоторое снижение количества АК, но не ниже значений для предыдущих участков. По оценке наших коллег, площадки 5, 6 и 7 характеризуются оптимальными условиями солености и ИДВ для роста и развития водорослей данного вида [10].

Максимальные значения АК были получены у водорослей с площадки 8. Вероятно, это объясняется географическими особенностями данной площадки. Впадающий в губу Ярнышную ручей Бобровый снижает соленость во время отлива до значения 0,1‰. Ранее было высказано предположение, что водоросли существуют в эстуарных зонах благодаря колебаниям солености на литорали [11], т.е. водоросли длительное время подвергаются воздействию пресной воды. ИДВ в данном месте больше, чем в кутовой части губы Ярнышная, а количество биогенов, приносимое пресным стоком, позволяет водорослям активно синтезировать АК.

Таким образом, можно сделать вывод, что накоплению АК способствует сочетание условий внешней среды со значениями ИДВ от 0,012 до 0,007 мг·г/ч, колебаний солености 12–25 ‰. Распреснение при достаточно интенсивном движении воды увеличивает содержание АК. Высокое значение солености и ИДВ в сочетании с сильной прибойностью лимитируют накопление АК.

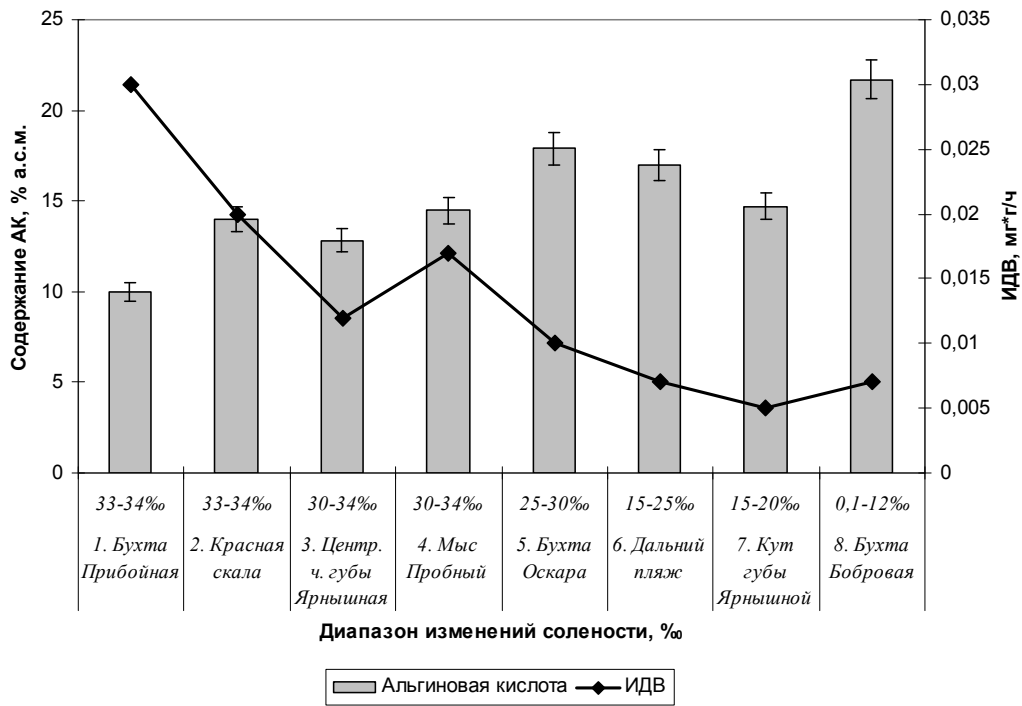


Рис. 1. Изменение содержания альгиновой кислоты у водоросли *F. vesiculosus* под влиянием солёности и ИДВ

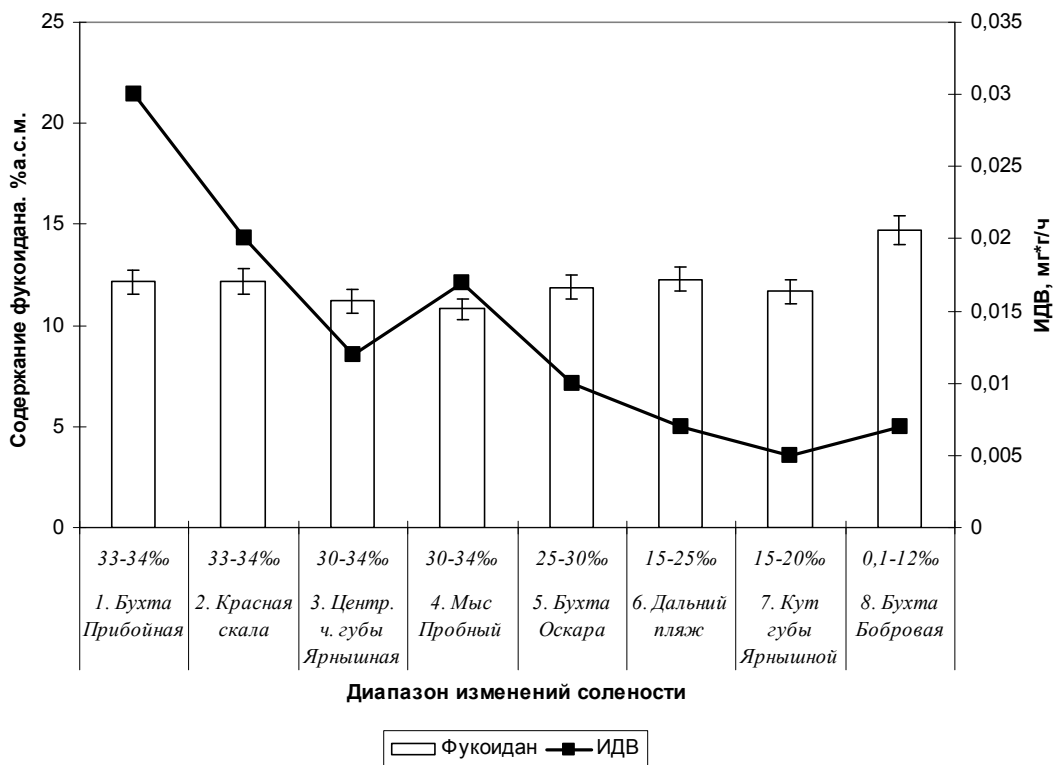


Рис. 2. Изменение содержания фукоидана у водоросли *F. vesiculosus* под влиянием солёности и ИДВ

Содержание фукоидана. Анализируя данные, представленные на рисунке 2, можно сказать, что содержание Φ незначительно отличается у фукуса пузырчатого из разных мест обитания. Одной из функций этого полисахарида является защита водорослей от высыхания, что особенно важно для литоральных растений, к которым и относится фукус пузырчатый. Поэтому и содержание Φ у фукоидов выше, чем у ламинариевых водорослей [12, 13]. Количество Φ у баренцевоморских фукусовых водорослей также мало меняется в течение всего года и сохраняется на достаточно высоком уровне [3].

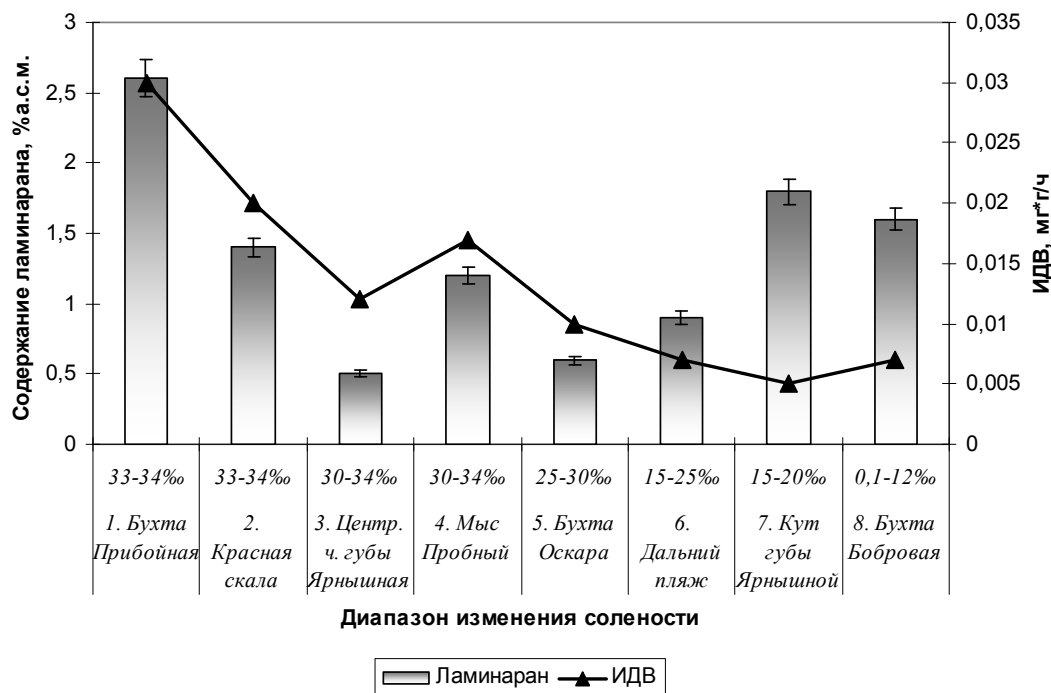


Рис. 3. Изменение содержания ламинарана у водоросли *F. vesiculosus* под влиянием солёности и ИДВ

Повышенное количественное значение этого полисахарида обнаружено нами у фукуса пузырчатого с площадки 8, которое характеризуется сильным распреснением, особенно во время отлива. В отличие от АК, которая является структурным и резервным полисахаридом, характеризуется плохой растворимостью в воде, Φ – водорастворимый полисахарид. Вероятно, возникающее вымывание Φ под действием пресного ручья компенсируется его повышенным синтезом.

Содержание ламинарана. По количеству L фукоиды значительно уступают ламинариевым водорослям: его содержание колеблется у разных видов фукусовых от 2 до 5%. Фукус пузырчатый содержит наименьшее его количество, по некоторым данным L у этого вида вообще не обнаружен [14]. В нашем исследовании (рис. 3) наибольшее содержание ламинарана найдено у фукуса с площадки 1 (2,6%), наименьшее – с площадок 3 и 5. На наш взгляд, содержание этого резервного полисахарида повышается при воздействии на растения стрессовых факторов – высокой прибойности и ИДВ, а также низкой солёности. Явной зависимости количества ламинарана от исследуемых факторов не установлено.

Более ранние исследования химического состава фукуса пузырчатого в губах Ярнышная и Дальнезеленецкая Баренцева моря позволили установить, что общее содержание полисахаридов в местах с меньшей солёностью выше, чем в местах с морской солёностью в течение всего года [4]. Для летних месяцев данный показатель – 64,0 и 59,6% соответственно. Общее содержание углеводов того же вида фукоидов Белого моря – 26–31% [15], при этом авторы отмечают, что солёность в местах сбора водорослей составляла 23,5–29,9‰.

По данным наших коллег [6], фукус пузырчатый из кутовой части губы Ярнышная характеризуется наибольшим содержанием сухого вещества. При увеличении солёности происходит достоверное уменьшение количества сухого вещества, исключение при этом составляют водоросли из бухты Прибойная. Поскольку основной вклад в показатель «содержание сухого вещества» вносит количество полисахаридов, следовательно, при уменьшении солёности общее содержание полисахаридов возрастает. В нашем исследовании установлено, что количество Φ и L под влиянием внешних факторов меняется незначительно, поэтому мы делаем вывод, что наибольшее влияние на содержание АК оказывает колебание солёности.

Выводы

1. Содержание *АК* у фукуса пузырчатого Баренцева моря подвержено изменениям под влиянием различной солености и ИДВ. В условиях морской стабильной солености *АК* накапливается меньше, чем в местах с выраженными колебаниями солености и ИДВ средней интенсивности.

2. Содержание *Ф* под действием солености и ИДВ меняется незначительно, но при воздействии очень низких значений солености его содержание увеличивается.

3. На увеличение содержания *Л* у фукуса пузырчатого влияют стрессовые условия с очень высокими значениями ИДВ или низкой солености.

4. Для заготовки водоросли фукус пузырчатый с целью получения полисахаридов, а также при культивировании, предпочтительнее выбирать места защищенного берега с впадающими ручьями.

Список литературы

1. Зайцев В.П., Ажгихин И.С., Гандель В.Г. Комплексное использование морских организмов. М., 1980. 280 с.
2. Шошина Е.В. Фукусовые водоросли // Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты, 1998. С. 174–187.
3. Облучинская Е.Д., Воскобойников Г.М., Галынкин В.А.. Содержание альгиновой кислоты и фукоидана в фукусовых водорослях Баренцева моря // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38, №2. С. 213–216.
4. Барашков Г.К., Вахрашина А.В., Петров Ю.Е. Сезонные изменения химического состава у фукусовых водорослей Баренцева моря Кольского полуострова // Растительные ресурсы. 1966. Т. 2, №2. С. 191–200.
5. Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты, 2003. 308 с.
6. Рыжик И.В. Морфофункциональные особенности промысловых водорослей из разных биотопов Баренцева моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2005. 24 с.
7. Хайлов К.М., Завалко С.Е., Ковардаков С.А., Рабинович М.А. Изготовление и применение гипсовых структур для регистрации физико-химического взаимодействия тела с движущейся водой в мелкомасштабном пространстве // Экология моря. 1988. Вып. 30. С. 83–90.
8. Усов А.И., Смирнова Г.П., Ключкова Н.Г. Полисахариды водорослей. 55. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки // Биоорганическая химия. 2001. Т. 27, №6. С. 444–448.
9. Myklestad S. β -1,3-Glucans in diatoms and brown seaweeds. Handbook of Phycological Methods. Physiological and Biochemical Methods. Hellebust J.A. and Craigie J.S., eds. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1978. Pp. 133–141.
10. Малавенда С.В., Воскобойников Г.М., Матишов Г.Г. Роль интенсивности движения воды и солености в формировании структуры популяции *F. vesiculosus* Баренцева моря // Доклады Академии наук. 2007. Т. 413, №3. С. 424–426.
11. Тропин И.В., Радзинская Н.В., Воскобойников Г.М. Влияние изменения солености на темновое дыхание и структуру клеток талломов бурых водорослей литорали Баренцева моря // Известия РАН. Сер.: Биологическая. 2003. №1. С. 48–56.
12. Усов А.И., Ключкова Н.Г. Бурые водоросли Камчатки как источник маннита // Биоорганическая химия. 1994. Т. 20, №11. С. 1236–1241.
13. Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, №3. С. 377–342.
14. Аразашвили А.И. Биологически активные вещества и другие природные соединения морских водорослей. Тбилиси, 1980. 336 с.
15. Коровкина Н.В., Богданович Н.И., Кутакова Н.А. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью дальнейшей переработки // Химия растительного сырья. 2007. №1. С. 59–64.

Поступило в редакцию 3 сентября 2010 г.

После переработки 3 февраля 2011 г.