

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ FUCUS VESICULOSUS L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2010 г. М. В. Макаров, И. В. Рыжик, Г. М. Воскобойников,
академик Г. Г. Матишов

Поступило 06.07.2009 г.

В современном представлении вертикальная зональность произрастания водорослей определяется комплексом факторов: верхняя граница — абиотическими (освещенность, температура, осушение, количество питательных веществ), а нижняя — биотическими (межвидовая конкуренция) [1]. Большое количество исследований посвящено оценке физиологического состояния водорослей в градиенте воздействия различных факторов [обзоры 2–5].

Fucus vesiculosus в естественных условиях произрастает в верхнем горизонте литорали и, как показали наши исследования, является наиболее устойчивым к стрессовому воздействию. Верхняя граница его распространения — зона длительного осушения. Нашей целью было определить оптимальную глубину произрастания *F. vesiculosus* и возможную нижнюю границу его распространения при отсутствии межвидовой конкуренции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одновозрастные растения *F. vesiculosus* (4–5 дихотомических ветвлений) отбирали с литорали и закрепляли на вертикальном канате таким образом, чтобы они находились на глубине 0; 0.5; 2; 5; 10; 15 м. На каждой глубине было закреплено по 30 экземпляров растений. Исследование проводили в губе Дальнезеленецкой Баренцева моря (69.07° N, 36.04° E). Было поставлено 2 эксперимента. В первом (январь — октябрь 2008 г.) растения помещали на глубину для определения морфологических изменений и состава обрастателей. Во втором исследовали физиологическое состояние водорослей: относительную скорость роста апикальных участков талломов (июль, [6]), интенсивность видимого фотосинтеза целых растений (сентябрь), метаболическую активность

клеток (октябрь, [7]), содержание основных фотосинтетических пигментов (β -каротин, виолаксантин, фукоксантин, хлорофиллы а и с, октябрь, [8, 9]).

Освещенность (ФАР, 400–700 нм) на различной глубине измеряли погружным квантометром (“Квант-А”, Севастополь).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фотосинтетически активная радиация (ФАР). В течение летнего периода (июль–сентябрь) характер проникновения ФАР в толщу воды оставался неизменным. Наиболее значительно освещенность снижалась в верхнем слое воды. В осенний период (с начала октября) прозрачность воды увеличивалась, в основном вследствие затухания вегетационной активности фитопланктонных сообществ (рис. 1).

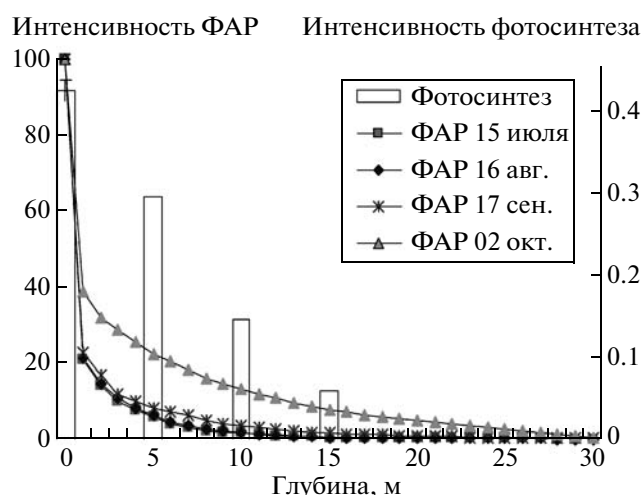


Рис. 1. Изменение освещенности (интенсивность ФАР, % от поверхностной) и видимого фотосинтеза (мг O₂/ч · г сыр. массы) *F. vesiculosus* при произрастании на разных глубинах.

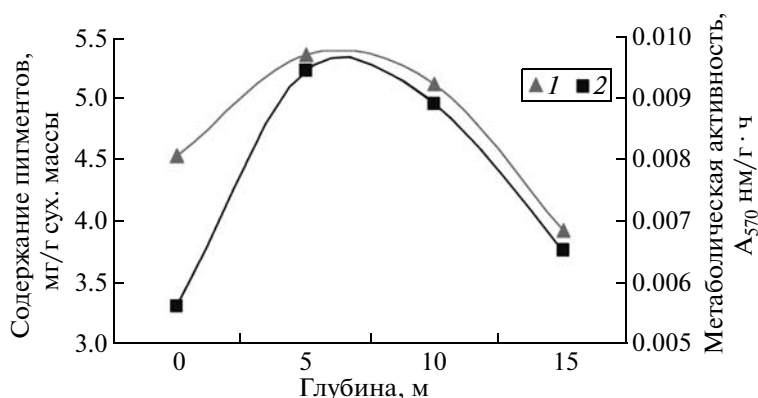


Рис. 2. Изменение содержания фотосинтетических пигментов (1) и метаболической активности (2) клеток *F. vesiculosus* при произрастании на разных глубинах.

Видимый фотосинтез. При снижении освещенности с увеличением глубины интенсивность фотосинтеза талломов *F. vesiculosus* значительно уменьшалась (рис. 1).

Содержание фотосинтетических пигментов. Наибольшее количество фотосинтетических пигментов содержалось в талломах водорослей, произраставших на глубине 5–10 м, наименьшее – произраставших на глубине 15 м (рис. 2). Соотношения фотосинтетических пигментов (Хл с/Хл а и Кар/Хл а) находятся в противофазе (рис. 3).

Метаболическая активность. Выявлена зависимость изменения метаболической активности клеток *F. vesiculosus* от глубины произрастания и содержания фотосинтетических пигментов (рис. 2).

Морфология талломов, состав эпифитов и фитофагов. Весной и в начале лета растения, находившиеся в поверхностном слое воды (0–0.5 м), в массе обрастали эпифитными водорослями (*Ruilaella litoralis*, *Ectocarpus* sp.), животные организ-

мы практически отсутствовали. К августу водоросли-эпифиты исчезали, в качестве эпифитов появлялись гидроиды и моллюски-фитофаги.

Талломы, произраставшие на глубине 0 и 0.5 м, по внешнему виду не отличались от растений из природных зарослей. На растениях, находившихся на глубине 0.5 м, встречались единичные мелкие гидроиды рода *Obelia geniculata* и мидии (*Mytilus edulis*). Растения, произраставшие на глубинах 2–5 м, имели более темную окраску, на них поселилось большое количество гидроидов рода *O. geniculata* (длиной до 5 см) и мидий, присутствовали брюхоногие моллюски, в основном *Epheria vineta*, редко *Margarites helacinus*. Разрушений талломов не наблюдалось. У растений с глубины 10 м разрушались апикальная часть и листовая пластинка на средней части таллома. Эпифиты отсутствовали, на талломах находились мелкие литорины. У растений, произраставших на глубине 15 м, сохранилась только срединная жилка. Апексы, листовая часть и воздушные пузыри разрушены. Эпифитов не обнаружено. На талломе присутствовало большое количество брюхоногих моллюсков, по-видимому, питающихся разрушающимися участками таллома.

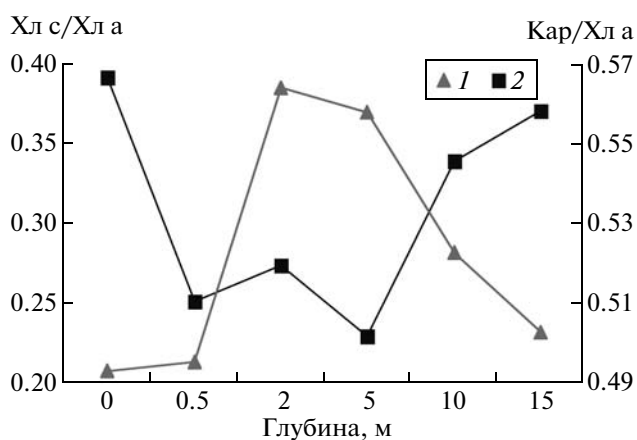


Рис. 3. Соотношение фотосинтетических пигментов *F. vesiculosus* при произрастании на разных глубинах. 1 – Хл с/Хл а, 2 – Кар/Хл а.

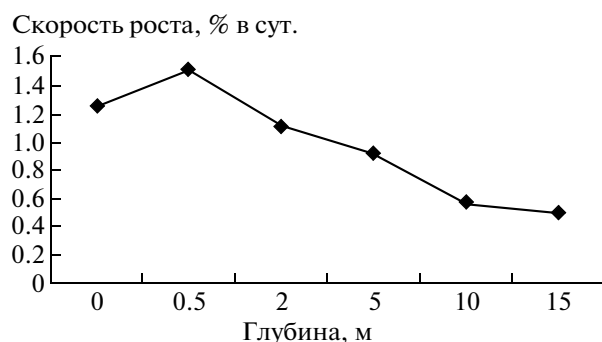


Рис. 4. Скорость роста *F. vesiculosus* на различной глубине.

Скорость роста. Наибольшую скорость роста *F. vesiculosus* регистрировали на глубине 0.5 м, с увеличением глубины скорость роста снижалась (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Как показало исследование, в летний период до 80% ФАР задерживается верхним метровым слоем воды. Талломы *F. vesiculosus*, находившиеся на глубине 0–0.5 м, по внешнему виду не отличались от растений из природных зарослей. У растений, находившихся на глубине 0.5 м, при низкой метаболической активности клеток и пониженном содержании фотосинтетических пигментов, скорость роста была максимальной, что может объясняться наличием в верхнем слое воды “бликового” освещения, при котором интенсивность фотосинтеза растений увеличивается [10, 11]. При дальнейшем увеличении глубины “бликовое” освещение исчезает, количество ФАР снижается и происходит дополнительное затенение растений эпифитами.

С увеличением глубины произрастания следуют адаптационные перестройки фотосинтетического аппарата водорослей к изменению уровня и спектрального состава освещения, что ранее было показано в [12]. Увеличение общего содержания и соотношения хлорофиллов с *a* и уменьшение соотношения каротиноидов и хлорофиллов до глубины 5 м указывают на адаптацию фотосинтетического аппарата к снижению уровня освещенности: увеличение содержания хлорофилла с как дополнительного пигмента светособирающего комплекса и снижение роли каротиноидов в качестве экранирующих пигментов. Глубже 5 м при повышении доли коротковолнового синего света увеличивается роль каротиноидов в качестве вспомогательных светособирающих пигментов, имеющих максимум поглощения именно в коротковолновой части спектра. Количество хлорофилла с при этом постепенно снижается.

Адаптация фотосинтетического аппарата является энергозависимым процессом, который сопровождается увеличением метаболической активности клеток водорослей. Происходит увеличение содержания фотосинтетических пигментов, а синтез структурных веществ замедляется. В связи с этим снижается и скорость роста водорослей.

Увеличение с глубиной количества эпифитов и фитофагов на поверхности водорослей может

быть вызвано снижением содержания танинов, защищающих растения, синтез которых является светозависимым процессом [13, 14], а также снижением скорости роста растений [15]. Кроме затенения растений, эпифиты уменьшают скорость движения воды возле поверхности таллома, что снижает возможность обмена со средой. При этом уменьшается активность основных физиологических процессов.

Таким образом, анализ интенсивности фотосинтеза, содержания и соотношения фотосинтетических пигментов, метаболической активности клеток и скорости роста *F. vesiculosus* показывает, что глубина 0.5 м является оптимальной, а глубина 10 м — критической для произрастания данного вида водорослей. При дальнейшем увеличении глубины произрастания фотосинтетический аппарат не сможет длительное время обеспечивать функциональную активность водорослей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kiirikki M.* // *Europ. J. Phycol.* 1996. V. 31. P. 225–232.
2. *Carpenter R.C.* // *J. Phycol.* 1990. V. 26. P. 6–12.
3. *Maggs C.A.* // *J. Phycol.* 1990. V. 26. P. 18–24.
4. *Falkowski P.G., LaRoche J.* // *J. Phycol.* 1991. V. 27. P. 8–14.
5. *Davison I.R., Pearson G.A.* // *J. Phycol.* 1996. V. 32. P. 197–211.
6. *Luning K.* // *J. Phycol.* 1992. V. 28. P. 794–803.
7. *Рыжук И.В.* Материалы XXVI конф. молодых ученых ММБИ. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 124–127.
8. *Лу Б.Д.* Экологические аспекты фотосинтеза морских растений. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 38–54.
9. *Jeffrey S.W., Humphrey G.F.* // *Biochem. and Physiol. Pflanz.* 1975. Bd. 167. S. 191–194.
10. *Wing S.R., Patterson M.R.* // *Mar. Biol.* 1993. V. 116. P. 519–525.
11. *Greene R.M., Gerard V.A.* // *Mar. Biol.* 1990. V. 105. P. 337–344.
12. *Тутлянов Э.А., Колмаков П.В., Лелеткин В.А., Воскобойников Г.М.* // *Биология моря.* 1987. Т. 2. С. 48–57.
13. *Jennings J.G., Steinberg P.D.* // *Oecologia.* 1997. V. 109. P. 461–473.
14. *Winkel-Shirley B.* // *Curr. Opin. Plant Biol.* 2002. V. 5. P. 218–223.
15. *Honkanen T., Jormalainen V.* // *Oecologia.* 2005. V. 144. P. 196–205.