

Н. А. МИЛЬЧАКОВА, Е. В. КИРЕЕВА

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ АНАТОМО-МЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *POLYSIPHONIA ELONGATA* (HUDS.) HARV.
В ЧЕРНОМ МОРЕ**

Приводится сравнительная анатомо-метрическая характеристика представителя черноморской глубоководной флоры – красной водоросли *Polysiphonia elongata*, ареал которой значительно расширился в последние годы. Показано, что для большинства анатомических показателей водоросли характерны высокая изменчивость и пластичность. Обсуждается адаптация вида к разным экологическим условиям.

Исследования донной растительности в прибрежных и глубоководных районах Черного моря показали значительное расширение ареала типично глубоководного вида красных водорослей – *Polysiphonia elongata*. Известно, что *P. elongata* образует олигодоминантные сообщества, преимущественно на глубинах 25–45 м, а также входит как субдоминант в глубоководные фитоценозы филлофоры [3, 4, 9, 10]. Однако в последние 15 лет полисифония стала вытеснять филлофору в сообществах филлофорного поля Зернова [5] и постоянно встречаться в цистозировых сообществах прибрежной зоны Крыма и Кавказа (собств. неопубл. данн.). Этот мезосапробный вид зарегистрирован не только в эвтрофных (вблизи оползней, крупных бухт), но и в олиготрофных заповедных акваториях (Карадаг, Тарханкут, Утриш), расселяясь от мелководья до максимальной глубины обитания макрофитов. При этом наиболее значительные скопления полисифонии характерны для районов, где наблюдается существенное снижение прозрачности воды [1].

Нами высказано предположение о наличии у полисифонии особенностей анатомической структуры, способствующих адаптации вида к обитанию в широком диапазоне глубин в районах с различными экологическими условиями. Данные об анатомическом полиморфизме макроводорослей в известной нам литературе практически отсутствуют [2, 7], поэтому его изучение у *P. elongata* стало целью настоящей работы.

Материал и методика. Материал собран в прибрежной и глубоководной зонах Крымского и Кавказского побережий в сухопутных экспедициях и 53 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» весной и летом 1998–1999 гг. на глубинах 2, 5, 10, 20, 43 и 50 м (у мысов Мысхако и Утриш, у Карадага и Тарханкута).

Для анатомо-метрического анализа на каждой станции было отобрано по 5 развитых растений *P. elongata*, зрелость которых определяли по присутствию органов полового и вегетативного размножения [3, 4]. В средней части, у основания и вершины каждого таллома измеряли 10 анатомических показателей в 20-ти кратной повторности: диаметр оси и центральной клетки, толщину и число рядов корового и центрального слоев, а также размеры их клеток. Выполнено около 3600 измерений, которые статистически обработаны.

Результаты и обсуждение. Слоевище *P. elongata* имеет вид грубо-нитевидных кустиков высотой до 10–20 см [3, 10], которые прикрепляется ризоидами, часто образующими многослойные жгуты с присосками на концах. Рост осуществляется верхушечной клеткой, верхние веточки заметно тоньше основных, часто обламываются, и тогда слоевище имеет вид длинных прутьев [3], что усложняет идентификацию *P. elongata* по внешним признакам. На глубине от 2 до 20 м встречаются наиболее развитые растения, несущие основные и вторичные ветви; на больших глубинах ветвление таллома уменьшается, вторичные ветви практически отсутствуют.

Толщина слоевища варьирует от 0,3 до 2 мм, центральная ось и боковые ветви округлые. У растений из мелководной зоны наибольший диаметр оси в средней части, с глубиной он становится большим у основания – в 1,5–5 раз. Так, на глубине 2 м макс

мальный диаметр оси, отмеченный в средней части, составлял $1501,8 \pm 16,8$ мкм, на глубине 43 м он был больше у основания - $1622,0 \pm 18,4$ мкм. На глубине 50 м диаметр оси в этих частях таллома уменьшается в 2-3 раза.

Анатомическая структура полисифонии представлена двумя слоями - коровым и центральным, в центре поперечного среза находится крупная изодиаметрической клетка (см. рис.). На молодых ветвях коровой слой слабо развит, количество его рядов, а также рядов центрального слоя возрастает по направлению от верхушечной части к основанию и изменяется от 1 до 4 независимо от глубины обитания (табл. 1, 2).

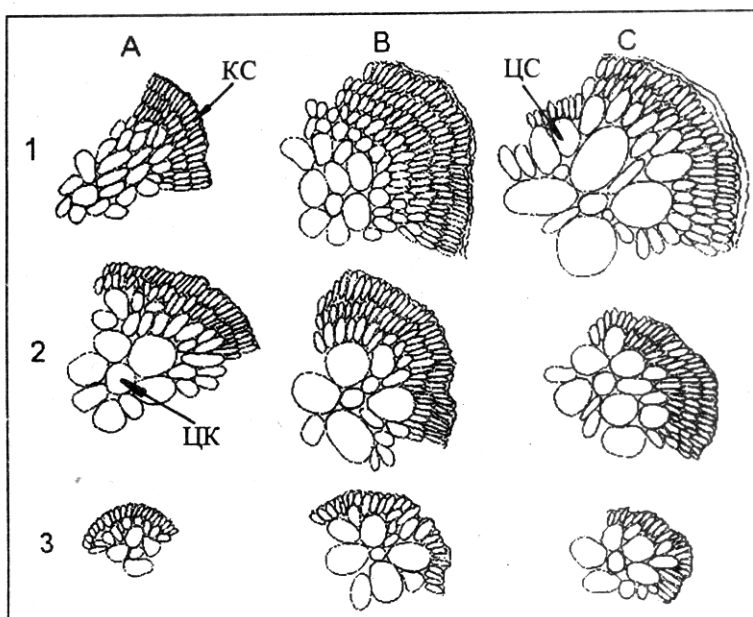


Рис. Изменение анатомической структуры разновозрастных частей таллома *P. elongata* с глубиной (КС - коровой слой; ЦС - центральный слой; ЦК - центральная клетка). А - глубина 2 м, В - 20 м, С - 43 м.

1 - основание таллома, 2 - средняя часть, 3 - верхушечная часть.

Fig. Changes in the anatomic structure of *P. elongata* depending on age and depths.

А - 2 m, В - 20 m, С - 43 m, 1 - basal part, 2 - middle part, 3 - terminal part.

Максимальный диаметр центральной клетки основания таллома зарегистрирован на глубине 43 м ($176,3 \pm 7,9$ мкм). Диаметр клетки увеличивается с глубиной, в средней и верхушечной части эти изменения незначительны. Размеры клетки мало варьируют на глубине от 2 до 20 м и в большей степени на глубине от 20 до 50 м. На нижней границе произрастания этот показатель у разновозрастных частей таллома уменьшается более чем вдвое, что находит отражение в значениях коэффициента вариации (Cv). Его наибольшая величина зарегистрирована на нижней границе обитания (43,8%), а наименьшая - на глубине 20 м (11%). В целом, независимо от глубины обитания, диаметр центральной клетки возрастает в направлении от растущей части таллома к старой.

Коровой слой. Для слоя характерна палисадная структура, его клетки вытянуты в длину, которая превышает ширину в 2-5 раз. Форма клеток лишь немного округляется в верхней части таллома на глубине 50 м. С возрастом толщина слоя увеличивается пропорционально увеличению количества рядов в 2-4 раза (табл. 1). Наиболее утолщенный коровой слой характерен для основания растений, произрастающих на глубине 20 - 43 м, в прибрежной зоне его толщина в 1,5 раза меньше. На глубинах от 2 до 10 м в средней части таллома она существенно снижается, а в верхушечной и у основания изменяется мало. Независимо от глубины обитания утолщение корового слоя происходит в направ-

Таблица 1 Возрастные изменения корового слоя *P. elongata* с глубиной (весна-лето 1998-1999 г.г.)
Table 1 Age changes of the cortex of *P. elongata* thallus depending on the depth (spring-autumn 1998-1999)

Глубина, м	Толщина слоя			Количество рядов			Высота клеток			Ширина клеток		
	В	С	О	В	С	О	В	С	О	В	С	О
2	89,8±3,8*	228,3±7,7	217,0±7,8	1	2,3±0,1	3	62,9±3,2	83,8±4,5	138,4±2,3	26,5±1,5	33,3±1,3	28,7±1,4
5	102,8±7,8	206,8±0,6	231,1±9,3	1	2,2±0,1	3	68,7±4,7	88,9±3,9	82,4±4,4	23,1±1,3	33,3±2,4	28,2±1,4
10	82,5±7,0	149,2±7,7	215,8±7,9	1	1,8±0,1	2,8±0,1	66,7±2,8	77,8±2,4	71,5±4,0	29,9±1,7	27,4±1,5	32,8±2,0
20	165,0±12,7	280,2±13,0	399,4±18,6	1,8±0,1	3,3±0,1	4,4±0,3	60,1±3,1	78,4±2,8	64,1±2,8	14,2±0,6	21,4±2,1	18,5±1,9
43	96,6±5,8	206,8±10,3	367,2±7,9	1,3±0,1	3,0±0,2	4,7±0,2	38,4±2,2	57,0±2,9	62,1±3,1	17,9±1,5	21,3±1,5	21,9±1,5
50	40,1±3,7	105,6±5,2	161,6±11,7	1	1,5±0,1	2,2±0,2	17,3±2,3	46,7±3,5	53,0±3,1	8,5±0,7	13,4±1,5	13,7±1,4

Таблица 2 Возрастные изменения центрального слоя *P. elongata* с глубиной (весна-лето 1998-1999)
Table 2 Age changes of the central layer of *P. elongata* thallus depending on the depth (spring-autumn 1998-1999)

Глубина, м	Толщина слоя			Количество рядов			Высота клеток			Ширина клеток		
	В	С	О	В	С	О	В	С	О	В	С	О
2	101,7±5,5*	296,1±11,4	288,1±9,9	1	2,2±0,1	3,3±0,1	88,3±4,5	114,0±4,6	104,9±3,5	45,6±2,8	48,7±3,1	41,3±1,5
5	118,6±5,7	196,0±6,4	192,1±4,3	1	2	3	76,9±5,3	104,9±6,3	111,1±4,8	43,6±2,4	63,8±4,3	42,4±3,4
10	122,0±4,3	169,5±10,7	213,0±12,6	1	1,8±0,1	2,8±0,1	84,6±4,7	88,6±3,6	101,5±5,7	46,2±3,2	47,6±3,7	47,6±3,0
20	198,3±11,4	302,3±6,3	189,3±15,2	1	2	3	94,0±4,0	106,6±5,6	68,1±3,2	71,5±3,1	98,6±6,3	55,6±3,1
43	79,6±5,8	220,9±7,2	342,9±11,4	1	2	3	43,9±2,0	104,0±4,6	121,7±7,9	34,4±1,6	84,4±5,4	115,9±7,9
50	44,1±3,7	109,0±10,7	186,4±7,2	1	1,8±0,1	2,8±0,1	36,2±1,9	72,3±4,5	94,0±9,0	24,2±0,9	54,4±2,4	70,7±3,8

Примечание: размеры указаны в мкм.

лении от молодых участков таллома к старым. Значения C_v толщины слоя в верхушечной части в 1,5 раза выше, чем в средней и у основания. Наибольший коэффициент вариации зарегистрирован в молодой части таллома на глубине 50 м (36,7%).

Размеры клеток слоя на разновозрастных участках таллома уменьшаются с глубиной (табл.1). Их наибольшая высота отмечена у основания на глубине 2 м, глубже размеры клеток в средней части таллома больше, чем в остальных. На нижних границах произрастания они вновь становятся выше у основания. Максимальная высота клеток у вершины и в средней части таллома отмечена на глубине 5 м, в более глубоководной зоне размеры клеток всех частей уменьшаются в 2-3 раза.

Таким образом, в диапазоне глубин от 2 до 5 м наблюдается наибольшая высота клеток корового слоя молодых и зрелых участков таллома. Коэффициент вариации высоты клеток изменяется в широких пределах в верхушечной и средней частях, где его значения выше, чем у основания. Наибольший C_v отмечен в верхушечной части на глубине 50 м, наименьший – у основания на глубине 2 м (соответственно 59,4 и 7,4%). Ширина клеток корового слоя у растений прибрежной зоны в разных частях таллома варьирует слабо, существенно снижаясь на глубине свыше 20 м. На глубине 2 -10 м значения C_v у основания и вершины изменяются незначительно в средней части размах варьирования возрастает почти вдвое. С увеличением глубины ширина клеток уменьшается в 2-3 раза, значения коэффициента вариации возрастают почти вдвое.

Центральный слой. Наибольшие значения толщины слоя характерны для средней части и основания и зарегистрированы соответственно на глубине 20 и 43 м. У этих частей таллома толщина слоя также высока на глубине 2 м (табл.2). В прибрежной зоне она изменяется мало, а коэффициент вариации возрастает с глубиной и в направлении от основания к верхушке таллома. Наименьший C_v наблюдается в средней части (2,6%), а наибольший – в верхушечной (32,2%), и характерен для нижних границ произрастания. Количество рядов у основания увеличивается с глубиной (табл. 2), тогда как в средней части и у вершины этот показатель изменяется мало. Это находит отражение в невысоких значениях C_v в зрелых частях таллома (12,5 - 24,1%).

Наибольшая высота клеток, как и толщина слоя, отмечена в средней части таллома и у его основания на глубине 2 и 43 м. В верхушечной части изменение высоты и ширины клеток выражено слабо, наиболее существенно оно на нижних границах произрастания. Значения C_v высоты клеток наиболее существенно изменяются у основания таллома - от 12,9% на глубине 2 м до 42,7% на глубине 50 м. В верхушечной и средней частях колебания C_v менее выражены, а его максимальные значения достигают соответственно 30,7 и 27,8%.

Максимальная ширина клеток наблюдается в средней части и у основания таллома соответственно на глубине 20 и 43 м (табл.2). Размах варьирования ширины клеток в этих частях таллома выше, чем их высоты. В верхушечной части изменчивость ширины клеток менее выражена. В целом на нижних границах обитания ширина клеток увеличивается с возрастом в 2-3 раза.

Таким образом, большинству анатомических показателей *P. elongata* свойственна высокая вариабельность. Так, у растений прибрежной зоны (глубина 2 - 5 м) в средней части таллома зарегистрированы наибольшие значения диаметра оси, центральной клетки, толщины корового и центрального слоев, а также размеры их клеток, которые значительно превышают таковые водорослей на нижних глубинах обитания и сопоставимы со значениями, характерными для глубины 20 м. В отличие от этого, большинство анатомических показателей основания таллома достигает максимальных величин на глубине 43 м. Меньшая изменчивость свойственна количеству рядов центрального слоя. Направленность возрастных изменений не зависит от глубины произрастания, но значения многих показателей увеличиваются в направлении от вершины к основанию таллома.

По-видимому, *P. elongata* можно отнести к эврибионтным видам черноморской альгофлоры, полиморфизм отдельных видов которой способствует их адаптации к неблагоприятным условиям, в том числе к уменьшению прозрачности и увеличению эв

трофирования. Что касается полисифонии, то расширение ее ареала и доминирование в глубоководных сообществах эвтрофных (северо-западный район и Кавказское побережье) и заповедных (Крым) акваторий не совсем укладывается в схему структурных преобразований макрофитобентоса, предложенную [6]. Возможно, расширению ареала *P. elongata* способствует высокая пластичность большинства анатомических признаков, позволяющая ей конкурировать с другими водорослями, особенно при изменении экологических условий. Полагаем, что исследование полиморфизма внутренней и внешней структуры водорослей является необходимой биологической основой при прогнозировании структурных изменений донной растительности Черного моря.

1. Беляев Б.Н. Освещенность водной толщи на северо-западной шельфе Черного моря в районах Каркинитского залива и филофорного поля Зернова // Экология моря. – 1993. – Вып. 43. – С. 69 - 75.
2. Евстигнеева И.К. Об изменчивости анатомической структуры лауренций Черного моря // Деп. ВИНТИ, 1990. – №441-В90 от 22.01.1990. – 10 с.
3. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.-Л.: Наука, 1967. – 400 с.
4. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1975. – 248 с.
5. Калугина-Гутник А.А., Евстигнеева И.К. Многолетняя динамика видового состава и структуры донных фитопленозов Филофорного поля Зернова // Экология моря. – 1993. – Вып. 43. – С. 90 - 97.
6. Миничева Г.Г. Морфофункциональные основы формирования морского фитобентоса: Автореф. дис...докт. биол. наук. – Севастополь, 1998. – 32 с.
7. Миронова Н.В. Морфобиологическая характеристика и распространение *Gracilaria dura* (Ag.) J.Ag. в Черном море // Экология моря. – 2000. – 51. – С.63 - 67.
8. Многолетние изменения зообентоса Черного моря // Зайка В.Е., Киселева М.И., Михайлова Т.В. и др. – Киев: Наук. думка, 1992. – 248 с.
9. Морозова-Водяницкая Н.В. Растительные ассоциации в Черном море // Тр. Севаст. Биол. ст. – 1959. – 11. – С. 158 - 566.
10. Петров К.М. Подводная растительность Черноморского побережья Таманского полуострова и Северного Кавказа // Использование аэрометодов при исследовании природных ресурсов. – Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 190 - 256.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 24.09.2000

N. A. MILCHAKOVA, E. V. KIREEVA

COMPARATIVE ANATOMICAL CHARACTERISTIC OF RED ALGAE, *POLYSIPHONIA ELONGATA* (HUDS.) HARV. FROM THE BLACK SEA

Summary

Comparative anatomic-metric characteristic of deep-sea red algae *Polysiphonia elongata* (Huds.) Harv. is given. High variability and plasticity of the most anatomical signs of this species are shown. Species adaptation to different ecological conditions is discussed.