

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ *RUPPIA CIRRHOSA* (PETAGNA) GRANDE ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМУМА ГЛУБИНЫ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Елена В. Киреева

**Аннотация.** Изучены особенности анатомического строения вегетативных органов морской травы *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande в связи с глубиной произрастания. Приведенные данные свидетельствуют о высоких адаптационных свойствах руппии. Показана возможность использования количественных анатомо-морфологических параметров вегетативных органов морской травы для индикации состояния исследуемого организма и среды обитания.

**Ключевые слова:** *Ruppia cirrhosa*, морские травы, анатомические параметры, вегетативные органы, глубина, Черное море

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины, просп. Нахимова, 2, Севастополь, 99011, Украина; helena\_kireeva@mail.ru

### Введение

Морские травы представляют экологическую группу специализированных высших цветковых растений, которые адаптировались к существованию в прибрежной зоне многих районов Мирового океана (Филлипс и Мильчакова 2003; Short 2001). Одним из экологически значимых массовых видов, характерных для мелководных бухт Черного моря, является *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande (Куликова и Колесникова 1976; Милснова 2003). Обширные заросли данного вида находятся от псевдотиторальной до средней сублиторальной зоны – от 0,2 до 2 м (Калугина-Гутник 1975; Милснова 2003; Верноев 1979), отдельные растения встречаются на глубинах до 7 м.

Анатомическая структура морских трав определяет их жизнедеятельность, а ее особенности формируют стратегию адаптации вида к функционированию в морской среде (Тнауер *et al.* 1984; Томлинсон 1980). Оптимум глубины произрастания *R. cirrhosa* определяется значениями температуры и светового излучения, от которых зависит интенсивность вегетативного воспроизводства, соотношение количества вертикальных и горизонтальных побегов, изменение количественных анатомо-морфологических признаков вегетативной сферы растения (Салудо & Дуарте 2000; Тнауер *et al.* 1984; Верноев 1979). Оценка состояния растений и среды обитания на основании анатомо-метрических параметров вегетативных органов применяется в зарубежной практике (Барнабас *et al.* 1977), но не используется

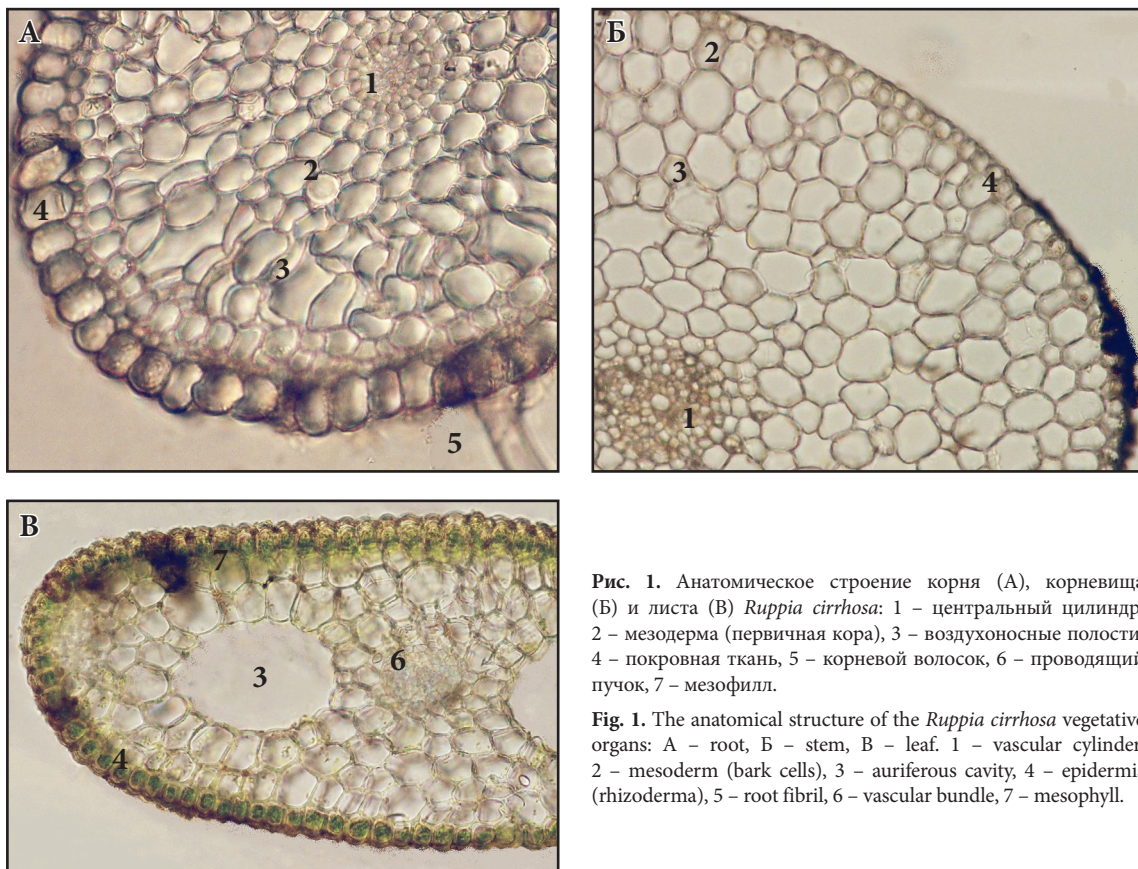
применительно к морским травам Черного моря. Выявление ключевых анатомо-метрических параметров вегетативных органов *R. cirrhosa*, которые являются не только характеристиками растения, но и индикаторами состояния среды, стало предметом настоящего исследования.

### Материалы и методы исследований

Материал для анатомо-метрических исследований собран в правом рукаве бухты Казачья (г. Севастополь) в период активной вегетации *R. cirrhosa*. Зрелые, вегетативные побеги отбирали в диапазоне глубин от 0,1 до 7 м через 1 м. На вегетативном побеге изучали 31 анатомо-метрический параметр, полностью характеризующий анатомическую структуру вегетативной сферы вида. Наиболее функционально-значимыми из них являются для корня и корневища: диаметр органа, толщина слоя покровной ткани и мезодермы (первичной коры), линейные размеры воздушных полостей; для листа – толщина листа, эпидермиса и мезофилла, линейные размеры, количество и объем воздухоносных полостей. На основании полученных результатов рассчитывали объем воздухоносных полостей органа в соответствии с оригинальной методикой (Киреева 2001).

### Результаты и их обсуждение

Изучение анатомической структуры вегетативных органов *R. cirrhosa* показало, что она соответствует строению высших цветковых вторичноводных растений (Рис. 1).



**Рис. 1.** Анатомическое строение корня (А), корневища (Б) и листа (В) *Ruppia cirrhosa*: 1 – центральный цилиндр, 2 – мезодерма (первичная кора), 3 – воздухоносные полости, 4 – покровная ткань, 5 – корневой волосок, 6 – проводящий пучок, 7 – мезофилл.

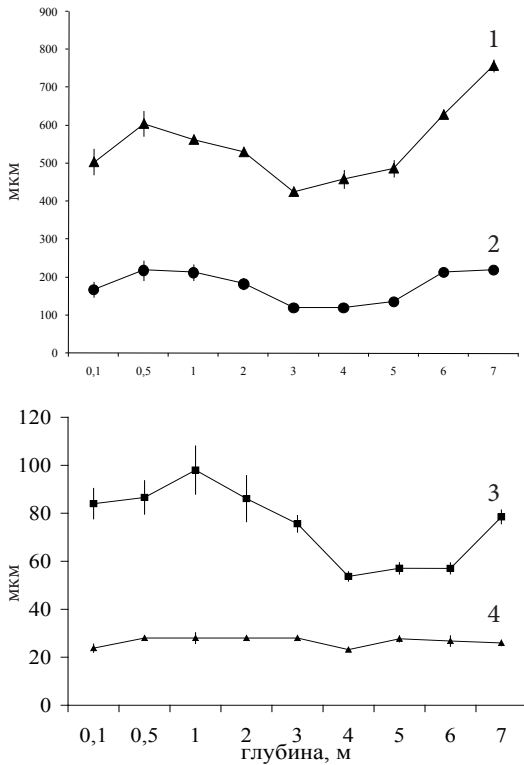
**Fig. 1.** The anatomical structure of the *Ruppia cirrhosa* vegetative organs: А – root, Б – stem, В – leaf. 1 – vascular cylinder, 2 – mesoderm (bark cells), 3 – auriferous cavity, 4 – epidermis (rhizoderma), 5 – root fibril, 6 – vascular bundle, 7 – mesophyll.

В ходе исследования выявлены следующие изменения анатомической структуры вегетативных органов *R. cirrhosa* по глубинам. В диапазоне глубин от 0,1-7 м обнаружена отрицательная корреляция с увеличением глубины у диаметра центрального цилиндра корня ( $r = -0,6$ ), а положительная – для ширины клеток ризодермы ( $r = + 0,9$ ) и линейных размеров клеток мезодермы (для длины и ширины  $r = + 0,8$ ). В диапазоне глубин от 0,5 до 3 м диаметр корня уменьшается почти в полтора раза из-за сокращения количества слоев клеток мезодермы. Увеличение этого параметра в 1,8 раза на глубине от 3 до 7 м обусловлено утолщением мезодермы и возрастанием диаметра центрального цилиндра (Рис. 2). Показательно, что на глубине свыше 3 м в зоне проведения корня зафиксированы достаточно крупные воздухоносные полости, количество которых варьирует 4 до 12 на поперечный срез.

Известно, что особенностью тканей корня является наличие значительного количества проводящих элементов в центральном цилиндре и утолщенный слой мезодермы, что

в совокупности обуславливает интенсивность транспорта поступающих через корень веществ (RIEGER & LITVIN 1999; VERNHOEVEN 1979). Помимо этого, снижение волновой активности в нижней сублиторальной зоне препятствует частому обламыванию корней, из-за чего их длина и толщина здесь выше, чем у растений на мелководье.

Наиболее значимые изменения, связанные с фактором глубины, обнаружены для анатомических параметров корневища руппии. Так, средний и высокий уровни линейной корреляции выявлены для диаметра корневища ( $r = + 0,7$ ), центрального цилиндра ( $r = +0,7$ ) и воздухоносных полостей ( $r = +0,6$ ), а также толщины покровной ткани ( $r = + 0,9$ ) и линейных размеров её клеток ( $r = +0,7$  и  $+0,9$  для длины и ширины клетки). С повышением глубины зафиксировано постепенное возрастание диаметра корневища, его максимальная величина обнаружена на глубине 7 м (рис. 3). Сходным образом изменяется толщина покровной ткани корневища, увеличиваясь с глубиной почти вдвое. Установлено, что толщина первичной

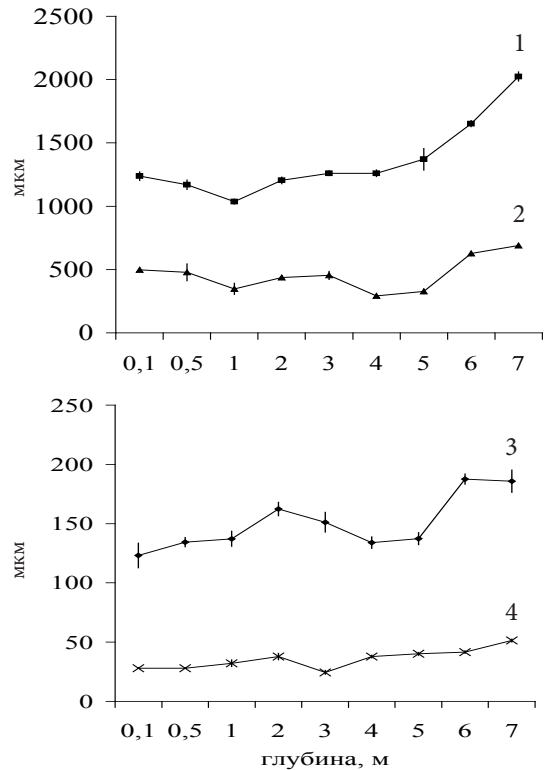


**Рис. 2.** Изменение анатомических параметров корня *Ruppia cirrhosa* по глубинам: 1 – диаметр корня 2 – толщина мезодермы, 3 – диаметр центрального цилиндра, 4 – толщина ризодермы.

**Fig. 2.** Changes of *Ruppia cirrhosa* root parameters with the change of depth: 1 – root diameter, 2 – mesoderm thickness, 3 – vascular cylinder diameter, 4 – rhizodermis thickness.

коры снижается в диапазоне глубин от 0,1 до 4 м почти вдвое, а затем увеличивается во столько же раз на глубине от 5 до 7 м, где достигает максимальных значений. Анализ полученных данных показывает, что диаметр корневища руппии на глубинах от 0,1 до 3 м определяется толщиной первичной коры, а с увеличением глубины до 7 м на данный параметр влияет величина слоя покровной ткани.

Колонизация *R. cirrhosa* свободных пространств в мелководной зоне происходит за счет быстрого формирования длинных и тонких горизонтальных корневищ, которые располагаются в грунте почти у самой поверхности и удерживаются в нем за счет обильного ветвления (VERHOEVEN 1979). Однако в этой зоне они легко обламываются из-за повышенной гидродинамической активности (RIVERA *et al.* 1997; VERHOEVEN 1979). При

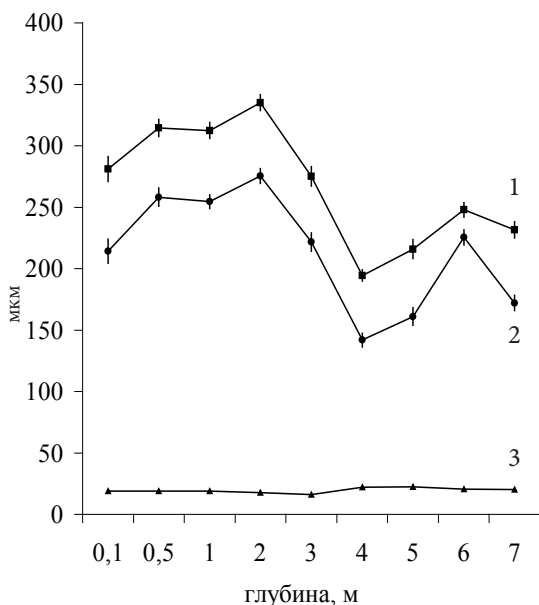


**Рис. 3.** Изменение анатомических параметров корневища *Ruppia cirrhosa* по глубинам: 1 – диаметр корневища 2 – толщина коры, 3 – диаметр проводящих тканей, 4 – толщина покровной ткани.

**Fig. 3.** Changes of *Ruppia cirrhosa* rhizome parameters with the change of depth: 1 – rhizome diameter, 2 – bark thickness, 3 – vascular bundle diameter, 4 – epidermis thickness.

увеличении глубины и снижении волновой активности размеры корневищ руппии в несколько раз превосходят зарегистрированные на мелководье. Этому способствует усиленное развитие покровной ткани корневища, за счет увеличения линейных размеров клеток и толщины её слоя.

Высокий и средний уровни линейной корреляции между глубиной произрастания и параметрами листа зафиксированы для толщины листовой пластинки ( $r = -0,7$ ), мезофилла ( $r = -0,7$ ), диаметра проводящего пучка ( $r = +0,6$ ), а также объема воздухоносных полостей ( $r = -0,8$ ) и их ширины ( $r = -0,6$ ). Для толщины листовой пластинки выявлено постепенное её увеличение на глубинах от 0,1 до 2 м, где она достигает максимальной величины (Рис. 4). При возрастании глубины до 4 м наблюдается уменьшение этого параметра



**Рис. 4.** Изменение анатомических параметров листа *Ruppia cirrhosa* по глубинам: 1 – толщина листа 2 – толщина мезофилла, 3 – толщина эпидермиса

**Fig. 4.** Changes of *Ruppia cirrhosa* leaf parameters with the change of depth: 1 – leaf thickness, 2 – mesophyll thickness, 3 – epidermis thickness.

в 1,7 раза, а к нижней границе произрастания (глубина 7 м) толщина листа вновь возрастает. Сходным образом происходит изменение толщины слоя недифференцированного мезофилла. Максимальное развитие тканей листа *R. cirrhosa* обнаружено на верхней границе средней сублиторальной зоны (глубина 2 м), тогда как наибольшие линейные размеры клеток эпидермиса и мезофилла, а также крупные воздухоносные полости и их высокий объем зафиксированы у растений, произрастающих в псевдолиторальной зоне (глубина 0,1-0,2 м).

В условиях высокой инсоляции мелководной зоны анатомическая приспособленность к избытку ультрафиолетового излучения проявляется в увеличении толщины листа за счет крупных воздухоносных полостей. При заполненных лакунах лист приобретает вертикальное положение, что снижает его фотосинтетическую активность из-за уменьшения поверхности, воспринимающей свет (DENNISON 1987). Помимо этого, углекислый газ и кислород, содержащийся в воздухоносных полостях листа, уравнивает давление водной толщи на органы растения (ВЕЕР &

WASEL 1982; SHORT 2001).

Анализ изменений анатомо-метрических параметров вегетативных органов *R. cirrhosa* показал, что в исследуемом диапазоне глубин произрастания (от 0,1 до 7 м) нельзя выделить глубину, для которой характерно оптимальное развитие всех структур вегетативных органов. Приведенные данные свидетельствуют о высоких адаптационных свойствах *R. cirrhosa*, которые наиболее выражены на нижней и верхней границах ее произрастания. Очевидно, в краевых зонах у руппии проявляется общебиологическая закономерность: развитие тканей и органов компенсирует негативное воздействие лимитирующих факторов среды.

Функционально-значимые анатомо-метрические параметры корня и листа *R. cirrhosa* достигают наибольших значений в диапазоне глубин от 0,5 до 2 м, который, по-видимому, является оптимальным для её произрастания. Высокая вариабельность изученных параметров органов позволяет ей существовать в диапазоне глубин от 0,1 до 7.

По мнению ряда исследователей, глубина произрастания морских трав, в том числе руппии, может служить своего рода экологическим индикатором, определяющим качество воды (АВАЛ & DENNISON 1996). Поскольку при увеличении прозрачности воды интенсивность освещенности возрастает, что позволяет морским травам колонизировать глубоководную зону (DUARTE 1991).

## Выводы

Полученные данные позволили сделать следующие выводы:

1. Размеры корня *Ruppia cirrhosa* на глубинах от 0,1 до 7 м в целом увеличиваются. Возрастание диаметра корня происходит за счет увеличения количества слоев клеток мезодермы и диаметра центрального цилиндра.

2. Выявлено постепенное возрастание параметров корневища с глубиной произрастания, при этом его величина в диапазоне от 0,1 до 3 м определяется толщиной первичной коры, которая пропорциональна количеству слоев клеток.

3. Толщина листовой пластинки и слоя недифференцированного мезофилла являются наиболее вариабельными параметрами, которые уменьшаются с глубиной.

4. По данным анатомо-метрического анализа вегетативных органов *R. cirrhosa* выявлен экологический оптимум произрастания – 0,5-2 м, где зафиксировано наилучшее состояние тканей и воздухоносной системы органов.

### Цитируемые источники

- КАЛУГИНА-Гутник А.А. 1975. Фитобентос Черного моря. Наукова думка, Киев.
- КИРЕЕВА Е.В. 2001. Методика определения объема полостей листа и стебля высших водных и наземных растений. *Экология моря* 58: 84–86.
- КУЛИКОВА Н.М. и КОЛЕСНИКОВА Е.А. 1976. Ассоциации цветковых растений в Севастопольской бухте. *Биология моря* 36: 17–25.
- ФИЛЛИПС Р. и МИЛЬЧАКОВА Н.А. 2003. Экосистемы морских трав. *Морской экологический журнал* 2 (2): 29–39.
- АВАЛ Е.Г. & DENNISON W.C. 1996. Seagrass depth range and water quality in southern Moreton Bay, Queensland, Australia. *Marine & Freshwater Research* 47 (6): 763–771.
- BARNABAS A.D., BUTLER V., STEINKE T.D. 1977. *Zostera capensis* Setchel. I. Observation on the fine structure of the leaf epidermis. *Pflanzenphysion* 85 (5): 417–427.
- BEER S. & WASEL Y. 1982. Effects of light and pressure on photosynthesis in two seagrasses. *Aquatic Botany* 13: 331–337.
- CALADO G. & DUARTE P. 2000. Modelling growth of *Ruppia cirrhosa*. *Aquatic Botany* 68 (1): 29–44.
- DENNISON H.C. 1987. Effect of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquatic Botany* 27: 15–26.
- DUARTE C.M. 1991. Seagrass depth limits. *Aquatic Botany* 40 (4): 363–377.
- MILCHAKOVA N.A. 2003. The seagrasses of the Black, Azov, Caspian and Aral seas. In: GREEN E.P. & SHORT F.T. (eds). *World Atlas of Seagrasses*: 59–64. University of California. Press, Berkeley.
- RIBERA G., COLOREU M., RODRIGUEZ-PRIETO C., BALLESTEROS E. 1997. Phytobenthic assemblages of Addaia Bay (Menorca, western Mediterranean): Composition and distribution. *Botany Marine* 40 (6): 523–532.
- RIEGER M. & LITVIN P. 1999. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany* 50 (331): 201–209.
- SHORT F.T. 2001. Global seagrass distribution. In: SHORT F.T. & COLES R.G. (eds). *Global seagrass research methods*: 5–31. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- THAYER G.W., KENWORTHY W.J., FONSECA M.S. 1984. The ecology of eelgrass meadows of the Atlantic coast: A community profile. Fish and Wildlife Service, Portland.
- TOMLINSON P.B. 1980. Leaf morphology and anatomy in seagrasses. In: PHILLIPS R.C. & McROY C.P. (eds). *Handbook of seagrass biology, and ecosystem perspective*: 7–28. Garland STPM Press, New York.
- VERHOEVEN J.T.A. 1979. The ecology of *Ruppia* – dominated communities in Western Europe. I. Distribution of *Ruppia* representatives in relation to their autecology. *Aquatic Botany* 6 (3): 197–268.

### AN USAGE OF MORPHO-ANATOMICAL FEATURES OF *RUPPIA CIRRHOSA* (PETAGNA) VEGETATIVE ORGANS FOR DETERMINATION OF THE OPTIMAL DEPTH OF GROWING

ELENA V. KIREEVA

**Abstract.** The anatomic structure of the seagrass *Ruppia cirrhosa* vegetative organs has been researched for revealing the anatomic characteristics which can be used for indication of the optimal depth of growing. It has been revealed that root and rhizome parameters extend and reach the maximum points while depth increases. The anatomical parameters of leaves have ascertained as the most variable features, which decrease while depth grows, and that restricts *Ruppia cirrhosa* expansion at the depth of more than 7 m below s.l.

**Key words:** *Ruppia cirrhosa*, seagrass, anatomic parameters, vegetative organs, depth, the Black sea

*Institute of Biology of the Southern Seas, NAS of Ukraine, Nahimova, 2, Sevastopol, 99011, Ukraine; helena\_kireeva@mail.ru*