

М. А. ИЗМЕСТЬЕВА, С. А. КОВАРДАКОВ

РАЗЛОЖЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТАЛЛОМА *CYSTOSEIRA BARBATA* (GOOD. ET WOOD.) AG. В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

В прибрежной зоне Черного моря в августе 2001 г. исследовали разложение различных структур таллома цистозир - стволы, оси I порядка и веточки с осями II-IV порядка. В течение 19 сут прослежено за изменением сухой массы у различных структур таллома. Показана зависимость убыли массы во время автолиза от температуры воды.

Цистозир относятся к доминирующим видам макрофитов Черного моря, образуя обширные подводные заросли вдоль всего побережья Крыма. Важнейшая экологическая особенность морских макрофитов состоит в том, что большая часть синтезированного ими в течение года органического вещества отторгается, подвергается разложению и направляется в детритную пищевую сеть. Общие потери массы у цистозир весьма велики, они в несколько раз превышают биомассу "на корню" [4, 5]. Массовый опад структур цистозир (осей с I по IV порядок) приходится на летние и зимние месяцы. Летний опад происходит при высокой температуре воды, которая, как известно, способствует более быстрому разложению водорослей. Объектом исследования служил один из двух массовых видов цистозир - *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag. Цель настоящего эксперимента состояла в том, чтобы получить наиболее реалистичные для природных условий скорости разложения цистозир летом - в период массового опада ее структур.

Материал и методы. Исследование проводили 12 - 31 августа 2001 г. в морской прибрежной зоне г. Севастополя (в бухте около радиобиологического корпуса Ин-БИОМ). Бухта периодически подвергается действию хозяйственных сточных вод из расположенной поблизости канализационно-насосной станции, работающей в аварийном режиме. В связи с этим в бухте и прилегающей акватории моря наблюдается повышенный биогенный фон [6]. Опад структур цистозир в пределах ветвей I порядка начинается со структур высших порядков (IV, III и II) и заканчивается осями I порядка [7]. В процессе подготовки исходного материала от ствола цистозир отсекали ветви I порядка; в пределах ветви I порядка от оси I порядка отсекали веточки с осями II - IV порядков (в дальнейшем для краткости их будем именовать оси II - IV порядка). Отдельно экспонировали стволы, оси I порядка и оси II - IV порядка. Стволы и оси I порядка нарезали длиной около 4 см, средняя длина веточек с осями II - IV порядка была 2 см. Исходный материал был высушен при температуре 105 °С, и из него были сделаны навески по 500 мг. Каждая навеска представляла собой усредненную пробу определенных структурных элементов с нескольких слоевищ цистозир. Навески помещали в полотняные мешочки с размером отверстий 200 мкм, которые для защиты от механических повреждений вставляли в более прочные мешки из синтетической ткани с отверстиями 2х2 мм. Мешки укрепляли на металлической конструкции, которую устанавливали в прибойной зоне около бетонной стенки, окаймляющей берега бухты. Удельные скорости разложения рассчитывали как отношение скорости изменения массы к среднему значению массы за определенный промежуток времени.

Результаты и обсуждение. Потеря общей массы является универсальным параметром для оценки скорости разложения. На рис. 1 представлено изменение сухой массы у различных структур таллома цистозир. Разложение характеризовалось высокими потерями массы в период прохождения автолиза с сопутствующим выщелачиванием (0 - 5 сут) и замедлением скорости в последующем (в период бактериального лизиса). Известно, что вначале убывают быстро разлагающиеся (или лабильные) вещества. За счет этого доля медленно разлагающихся (или стойких) веществ в остатках водорослей уве-

личивается, что приводит к снижению скорости разложения. Во время прохождения автолиза, потери массы у осей I и II - IV порядка были близкими и весьма значительными: за 5 сут они составили около 50 % (рис. 1), у стволов потери массы были почти в 2 раза ниже (23 %).

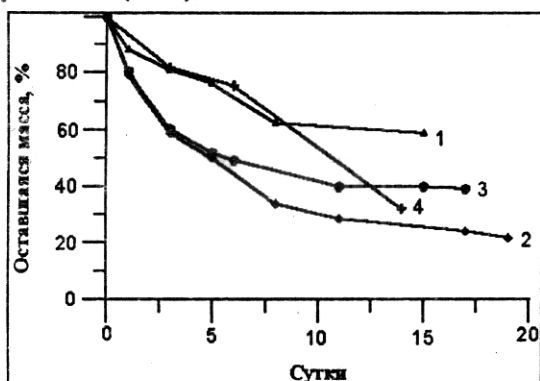


Рисунок 1. Изменение массы различных структур таллома *C. barbata* в процессе разложения: 1 - стволы; 2 - оси I порядка; 3 - оси II-IV порядков; 4 - ветви I порядка [2].

Figure 1. The change of the mass of various *C. barbata* thallus structures during decomposition: 1 - the stems; 2 - the 1st order axes; 3 - the 2nd - 4th order axes; 4 - the 1st order branches [2].

Величина в 50 % потерь массы у осей с I по IV порядок относится к высоким, поскольку в цистозире содержится мало лабильных веществ, которые обеспечили бы ей такую высокую скорость разложения. Известно, что до 70 % массы цистозир составляют углеводы [1]. Из них к низкомолекулярным относится только сахарный спирт маннит и его производные, содержание которых в среднем составляет 6 - 7 %. Остальные углеводы представлены полиозами, в разной степени устойчивых к разложению. Из них наиболее значимой является альгиновая кислота, содержание которой может достигать до 40 %. Соли альгиновой кислоты входят в состав клеточных стенок и считаются структурными полисахаридами.

Содержание питательных веществ в стволах меняется по сезонам. Например, известно, что осенью в цистозире, готовящейся к зимовке, происходит переток питательных веществ в ствол [2]. Судя по невысокой величине убыли массы у стволов во время автолиза (23 %), последние обеднены в летний сезон лабильными веществами.

В период бактериального лизиса вместе с замедлением процесса разложения также наблюдались различия в величинах убыли массы осей I и II - IV порядков. К 11-м суткам потери массы у осей II - IV порядка достигли 60 %, и в дальнейшем уменьшения массы не наблюдалось. Напротив, у осей I порядка разложение продолжалось, и к 19-м суткам потери массы достигли высокой величины - 78 %. Известно, что бактериальному лизису подвергается уже обедненный лабильными веществами материал. Но соотношение стойких веществ и веществ, еще могущих разлагаться под действием ферментов бактерий, у разных структур цистозир, по-видимому, различалось. У разных видов водорослей к стойким веществам относятся вещества наружного слоя эпидермы и расположенные под ней фотосинтетические слои [9, 10]. Относительный вклад этих веществ у осей II - IV порядка будет выше, чем у осей I порядка, что связано с величиной их удельной поверхности. У осей I порядка величина удельной поверхности составляет 10-12, у осей II - IV порядка - 27-35 $\text{мм}^2 \text{мг}^{-1}$ [5]. Потери массы у стволов за 15 сут составили 40 % (рис. 1). Из них за 10 сут бактериального лизиса (5 - 15 сут) разложилось 17 %. За аналогичный период потери массы осей II - IV порядка составили 10 %, у осей I порядка - 25 %. Таким образом, потери массы у стволов в период бактериального лизиса были сопоставимы с потерями у осей с I по IV порядок.

К вышесказанному необходимо добавить, что заключение структур цистозир в мешки предохраняло их от повреждающего действия среды. После прохождения автолиза и потери значительного количества лабильных веществ водоросли становятся уязвимыми к механическим воздействиям - ударам, волнению, трению о дно и др. Они легко распадаются на мелкие кусочки. Особенно это касается таких тонких структур, как оси II - IV порядка, а с уменьшением размера частиц скорость их разложения увеличивается.

Об интенсивности протекания процесса разложения в различные интервалы времени можно судить по удельным скоростям разложения (рис. 2).

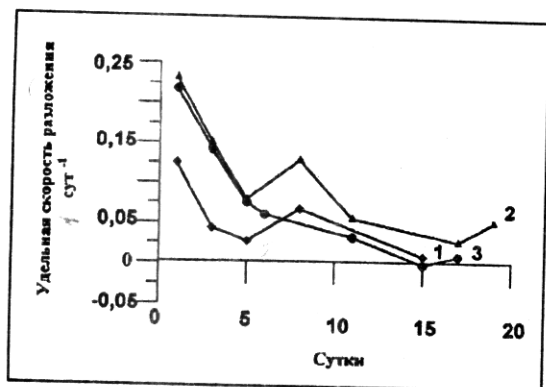


Рисунок 2. Удельные скорости разложения различных структур таллома *C. barbata*: 1 - стволы; 2 - оси I порядка; 3 - оси II - IV порядков
Figure 2. The specific decomposition rates of various *C. barbata* tallus structures: 1 - stems; 2 - the 1st order axes; 3 - the 2nd - 4th order axes

Особенностью разложения всех высушенных водорослей является быстрая потеря массы в начальный

период. В [8] показано, что максимальная скорость потери массы у сухого фукуса была отмечена через 1 мин. после погружения его в воду. Поэтому наибольшие величины удельных скоростей будут отмечаться в первый срок отбора образцов, в нашем случае - через сутки. К концу автолиза удельные скорости резко уменьшались. В этот период интенсивность убыли массы у осей с I по IV порядок характеризовалась близкими величинами, уменьшаясь в среднем от $0,225 \text{ сут}^{-1}$ в первые сутки до $0,078 \text{ сут}^{-1}$ на 5-е сутки. У стволов интенсивность убыли массы была ниже, соответственно от $0,125$ до $0,027 \text{ сут}^{-1}$. В период бактериального лизиса интенсивность разложения характеризовалась более низкими величинами удельных скоростей. При этом наибольшие величины были отмечены у осей I порядка, затем стволов, наименьшие - у осей II - IV порядка (рис. 2).

Разложение структур таллома цистозеры проходило при высокой температуре воды, $26 - 28^\circ\text{C}$. Известно, что скорость разложения зависит от температуры. Мы попытались дать количественную оценку вклада температуры в процесс разложения. Для этого мы сопоставили данные настоящего эксперимента с собственными данными по разложению ветвей I порядка цистозеры в проточной установке при более низкой температуре [3]. Пересчет скорости разложения от одного температурного режима к другому представляется затруднительным. Имеющиеся данные по разложению одноклеточных водорослей [11] при трех температурных режимах, $10, 20$ и 30°C , показывают, что зависимость температурного коэффициента Q_{10} от времени нелинейна и изменяется от рассматриваемого диапазона температур. Следует отметить, что в отличие от полевого эксперимента в проточной установке экспонировали не отдельные элементы, а целые ветви I порядка, включающие в себя оси I, II, III и IV порядков. Однако, поскольку в полевом эксперименте в течение первых 6 сут оси с I по IV порядок показали близкие величины убыли массы, мы сочли правомочным проведение такого сравнения.

Температура воды в проточной установке на 3, 6 и 14 сут разложения была соответственно $14, 16$ и 19°C , т.е. отличалась от температуры в полевом эксперименте на $10,5^\circ\text{C}$. Как следует из рис. 1, на 3 и 6 сут при температуре 26°C у осей I-IV порядка наблюдается потеря массы в 2 раза большая, чем при температуре $14 - 16^\circ\text{C}$. На 3 сут в проточной установке убыль массы составила 20% , в полевом эксперименте - 40% , на 6 сут - 25% против 50% . На 14 сут цистозера в проточной установке была сильно разрушена, ее оборванные кусочки наблюдались на внутренней поверхности стеклянных трубок установки, резьбовых соединениях, что привело к завышению потерь массы.

Известно, что с повышением температуры воды в диапазоне $10 - 30^\circ\text{C}$ у всех видов водорослей происходит увеличение убыли массы [11, 12]. Помимо физического ускорения процессов с повышением температуры воды увеличивается активность бактериального лизиса. По-видимому, это приводит к тому, что на стадии автолиза разлагаются не только лабильные вещества, но и вещества, более устойчивые к бактериальной деструкции. Этим можно объяснить высокие потери массы при температуре $26 - 28^\circ\text{C}$ на стадии автолиза у осей I - IV порядка, содержание лабильных веществ в которых относительно невелико.

Выводы. Полученная динамика убыли сухого вещества у различных структур цистозир показывает, что оси I - IV порядков, составляющие основную массу летнего опада, разлагались с высокими скоростями: 50 % массы оси теряли за 5 сут, т.е. за время прохождения автолиза. Такие высокие темпы разложения обеспечила высокая температура воды, 26-28 °С. При повышении температуры воды на 10°С убыль массы во время автолиза увеличивается в 2 раза.

В период бактериального лизиса скорости разложения осей I и II - IV порядков различались, что может быть связано с различным соотношением в массе веществ устойчивых к разложению. Возможно, последнее обусловлено отличиями в величинах удельной поверхности осей I - IV порядка. В итоге убыль массы за 17 сут у осей II - IV порядка составила 60 %, у осей I порядка за 19 сут - 78 %.

В летний период стволы обеднены лабильными веществами, убыль массы во время автолиза у них была невысокой, 23 %. За 10 сут бактериального лизиса потери составили 17 % и были сопоставимы с потерями у осей I - IV порядка.

1. Барашков Г. К. Сравнительная биохимия водорослей. - М.: Пищ. пром-сть, 1972. - 335 с.
2. Измestьева М. А. Поиск связи интенсивности разложения с удельной поверхностью на примере осевых структур цистозир // Экология моря. - 1993. - Вып. 42. - С. 68 - 75.
3. Измestьева М. А., Ковардаков С. А. Трансформация морских макрофитов в темноте в различных условиях проточности воды // Экология моря. - 1992. - Вып. 40. - С. 43 - 50.
4. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1975. - 246 с.
5. Ковардаков С. А., Празукин А. В., Фирсов Ю. К. и др. Комплексная адаптация цистозир к градиентным условиям. - Киев: Наук. думка, 1985. - 217 с.
6. Куфтаркова Е. А., Немировский М. С., Родионова Н. Ю. Гидрохимический режим района экспериментальной мидиевой фермы (рейд Севастополя) // Экология моря. - 2002. - Вып. 59. - С. 61 - 65.
7. Празукин А. В. Феноменологическое описание роста ветвей *Cystoseira barbata* как основа периодизации их онтогенеза // Экология моря. - 1983. - Вып. 13. - С. 749 - 758.
8. Hunter R. D. Changes in carbon and nitrogen content during decomposition of three macrophytes in fresh-water and marine environments // Hydrobiologia. - 1976. - 51, № 2. - P. 119-128.
9. Jewell W. J., McCarty P. L. Aerobic decomposition of Algae // Environmental. Sci. and Technology. - 1971. - 5, № 10. - P. 1023-1031.
10. Knauer G. A., Ayers A. V. Changes in carbon, nitrogen, adenosine triphosphate and chlorophyll "a" in decomposing *Thalassia testudinum* leaves // Limnol. and Oceanogr. - 1977. - 22, № 3. - P. 408 - 414.
11. Miyoshi H. Decomposition of marine plankton under laboratory condition // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.. - 1976. - 42, № 11. - P. 1205 - 1211.
12. Ravera O., Riccardi N., Targa C. Oxygen consumption and release rates of weight, carbon, nitrogen, phosphorus and sulphur from dead *Ulva rigida* (C. Ag.) (Chlorophyta) // Aquatic Ecology. - 1998. - 31, № 3. - P. 325 - 331.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 20.08.2002

M. A. IZMESTYIEVA, S. A. KOVARDAKOV

DECOMPOSITION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THALLI *CYSTOSEIRA BARBATA* (GOOD. ET WOOD.) AG. IN A COASTAL ZONE OF THE BLACK SEA IN SUMMER PERIOD

Summary

In August 2001 investigated decomposition of various structures brown alga *Cystoseira barbata* thallus - stems, the 1st order axes and branches with the 2nd - 4th order axes in a coastal zone of the Black Sea. The changes of dry weight at various structures of thallus during 19 days were observed. The dependence of weight loss in the autolysis period from temperature of water is shown.