

14. Мальчевский А. С., Пукинский Ю. Б. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий: в 2 т. Л., 1983. Т. 2.

15. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992.

Поступила в редакцию 21.03.05.

**Константин Викторович Барановский** - аспирант кафедры общей экологии и методики преподавания биологии. Научный руководитель - кандидат биологических наук, доцент В.В. Гричик.

УДК 577.475:577.1 + 591.524.1:577.1

А.

А.

ЖУКОВА

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ЭПИФИТОНА: СОПОСТАВИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

The two methods widely used to study epiphytic production were analyzed on the example of epiphyton growing on submerged macrophytes in Lake Naroch. The range of application and disadvantages of these methods are discussed. The study showed that the destruction of organic substance in the washed out and suspended epiphyton accounted 30 %, and gross primary production - nearly 10 % of that, measured in relatively undisturbed community.

Несмотря на определенный прогресс в изучении продукции перифитонных сообществ за последние десятилетия, публикации такого рода немногочисленны. Основным препятствием для исследования функциональных характеристик эпифитона (обрастаний водной растительности) является громоздкость и трудоемкость существующих методик [1-3]. Поскольку работа ведется с естественной системой из живых объектов, любое нарушение которой вызывает изменения в функционировании ее составляющих, оценить продукцию эпифитона можно лишь с некоторой степенью приближения. В настоящее время имеется два основных подхода к ее определению [2, 3].

1. Модификация метода склянок, который широко используется для изучения первичной продукции планктонного сообщества. Эпифитон смывают с макрофита, разбавляют фильтрованной водой и разливают в сосуды. Дальнейшее определение продукции проводится, как в случае с планктоном.

2. Изучение продукции системы эпифитон - макрофит. Макрофит (или его часть) с обрастаниями помещается в сосуд. Отдельно измеряется продукция макрофита, очищенного от обрастаний. Продукция эпифитона рассчитывается по разности между продукцией макрофита с эпифитоном и очищенного растения.

Очевидно, что каждый из этих методов обладает рядом недостатков: при использовании первого подхода сообщество эпифитона нарушается и переводится в неестественное для него взвешенное состояние, при втором - с макрофита удаляется эпифитон, который в естественных условиях препятствовал доступу света и биогенных элементов к макрофиту, затруднял газообмен. В обоих случаях исключается взаимовлияние эпифитона и растения-субстрата [4-6].

Работы по сопоставлению данных, полученных двумя методами, единичны. Проведенные Т.Д. Макаревич исследования обрастаний на полиэтиленовой пленке [2] показали, что валовая первичная продукция в перифитоне, удаленном с субстрата, составляла в среднем около 7 % от таковой в перифитоне на пленке. В.В. Юрченко [7] получил сведения о продукции в системе макрофит - обрастание, в очищенном растении и суспензии эпифитона с погруженных макрофитов (*Ceratophyllum demersum* L. и *Myriophyllum spicatum* L.) из днепровских каналов. По приведенным в работе значениям нами была рассчитана валовая суточная продукция эпифитона по разности между опытами с ненарушенной названной системой и очищенным от эпифитона макрофитом. При большом разбросе данных ее величина составила  $11,53 \pm 12,62$  мг/100 мг сухого вещества, что сопоставимо с продукцией, измеренной в суспензии эпифитона, -  $7,34 \pm 5,78$  мг/100 мг сухого вещества ( $n=15$ ).

Цель настоящей работы - оценить сопоставимость данных о продукции эпифитона, полученных в параллельных опытах с использованием двух альтернативных методик на примере обрастаний макрофитов оз. Нарочь.

### Материал и методика

Исследования проводили в июле - сентябре 2004 г. в литорали Малого плеса оз. Нарочь. Изучали функциональные параметры эпифитона с полупогруженных растений: тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рдеста курчавого (*Potamogeton crispus* L.), камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.) и рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.). Температура воды за весь период исследований изменялась в небольших пределах - от 19,2 до 23,0 °С, глубина биотопов составляла от 0,5 до 1,3 м.

Фрагменты макрофитов длиной 5-9 см вырезали из участка растения, погруженного на 30-40 см ниже уровня воды (у тростника и камыша - стебли, у рогоза - основания листьев, у рдеста - стебель и два листа). Часть из них оставляли ненарушенными, часть отмывали от эпифитона механическим способом (вручную и с помощью небольших щеток). Все три варианта опыта (относительно ненарушенный комплекс, макрофиты, очищенные от эпифитона, и смыв эпифитона) помещали в кислородные склянки (объемом около 120 мл) с озерной водой, профильтрованной через мембранный фильтр с диаметром пор 3 мкм (эпифитон разбавляли до концентрации, близкой к озерному sestonu). Всего в каждом опыте ставили на экспозицию 30 склянок - по 5 светлых и 5 темных параллелей для каждого из трех вариантов. В склянках с суспензией эпифитона коэффициент вариации был невысоким с. v.=2,3±2,8 %, а в склянках с очищенным макрофитом и макрофитом с обрастаниями составлял 13,1+15,9 % и 17,3±14,8 % соответственно. Необычайно большие величины коэффициента вариации (до 65 %) наблюдали в опыте с тростником в начале сентября.

Концентрация сухого вещества в суспензии эпифитона составляла 22.1±3,6 мг/л, концентрация хлорофилла-а колебалась от 0,54 до 1,85 мг/мг сухой массы эпифитона. В вариантах с тростником на склянку приходилось от 0,03 до 0,72 г сухой массы макрофита. Изменение концентрации кислорода в склянках за время экспозиции составило в среднем около 30 % от исходного.

При измерении продукции макрофитов кислородным методом обычно вводят поправку на скорость циркуляции воды [8], однако нами в данной работе величины продукции в системе макрофит - эпифитон и в очищенном растении приведены без учета поправки, так как ошибка метода нивелируется.

Склянки экспонировали в течение суток на мелководье озера. Величины валовой первичной продукции и деструкции органического вещества рассчитывали на единицу сухой массы или площади поверхности макрофита, вводя поправку на фоновые продукционно-деструкционные процессы в фильтрованной воде.

Сухую массу эпифитона определяли гравиметрически, осаждая суспензию на асбестовые фильтры с диаметром пор 1,5 мкм и высушивая до постоянного веса при 75 °С. В дальнейшем фильтры с навеской использовали для определения концентрации хлорофилла-а и феопигментов [9, 10] и содержания золы в эпифитоне (сжигая фильтры в муфельной печи при температуре 450 °С).

### Результаты и их обсуждение

За период исследования поставлено 9 опытов, основные результаты которых представлены в табл. 1-3.

Исследованные макрофиты заметно различались по степени обрастания и структуре эпифитона (см. табл. 1, 2). Для тростника сухая масса эпифитона в расчете на единицу массы или площади поверхности макрофита достигала максимума в наиболее мелководном биотопе, защищенном от ветра и волновой активности. Для рогоза и камыша на единицу сухой массы растения приходится гораздо большая площадь поверхности, поэтому одному грамму сухой массы растения соответствует значительная масса обрастаний, хотя сухая масса эпифитона в расчете на единицу площади этих макрофитов не отличается от таковой для тростника. Высокие удельные величины обрастания на рдесте (308,9 мг/г или 2,87 мг/см<sup>2</sup> против 13,2±11,1 мг/г и 0,17±0,11 мг/см<sup>2</sup> для остальных исследованных макрофитов) обусловлены, в частности, повышенным осаждением карбоната кальция, что подтверждается высокими величинами зольности эпифитона с рдеста (см. табл. 1).

Таблица 1

**Сухая масса эпифитона, рассчитанная на единицу сухой массы  
и площади поверхности макрофита-субстрата, зольность эпифитона**

Дата	Макрофит-субстрат	Площадь поверхности макрофита (см <sup>2</sup> ), отнесенная к 1 г его сухой массы	Масса эпифитона		Зольность эпифитона, %
			мг/г	мг/см <sup>2</sup>	
20.07	Тростник	26,7	4,0	0,15	—
28.07	Тростник	38,9	7,4	0,19	—
03.08	Тростник	36,3	14,9	0,41	45,7
16.08	Тростник	100,0	6,0	0,06	41,8
01.09	Тростник	108,9	9,8	0,09	37,9
04.09	Тростник	17,6	3,7	0,21	78,5
Среднее значение ± SD		54,7 ± 39,4*	7,6 ± 4,2	0,19 ± 0,12	41,8 ± 3,9
11.08	Рогоз	277,5	33,3	0,12	51,9
11.08	Рдест	107,6	308,9	2,87	94,3
01.09	Камыш	266,0	26,6	0,10	45,9

Примечание. \*Среднее рассчитано без учета экстремального значения 78,5 %.

Таблица 2

**Концентрация хлорофилла-а и феопигментов в эпифитоне**

Дата	Макрофит-субстрат	Суммарный хлорофилл *	Хлорофилл-а	Феопигменты	% феопигментов в общем форбине
		мкг/дм <sup>2</sup> макрофита мкг/г сухой массы макрофита			
20.07	Тростник	8,55	5,55	1,95	16,9
		2,28	1,48	0,52	
28.07	Тростник	10,26	8,36	3,04	18,4
		4,00	3,26	1,18	
03.08	Тростник	30,75	20,50	17,63	34,1
		11,18	7,45	6,41	
01.09	Тростник	6,21	5,22	1,53	11,2
		6,76	5,68	1,67	
Среднее значение ±SD		13,94 ± 11,33 6,05 ± 3,88	9,91 ± 7,20 4,47 ± 2,63	6,04 ± 7,75 2,44 ± 2,68	20,2 ± 9,8
11.08	Рогоз	22,20	20,52	3,00	6,9
		61,61	56,94	8,33	
11.08	Рдест	126,28	117,67	17,22	7,8
		135,92	126,65	18,53	
01.09	Камыш	13,6	12,8	1,10	4,9
		36,18	34,05	2,93	

Примечание. \*Без поправки на присутствие феопигментов.

Содержание суммарного хлорофилла в эпифитоне с тростника, рогоза и камыша колебалось в пределах 8,55-30,85 мкг/100 см<sup>2</sup> или 2,28-61,61 мкг/г сухой массы макрофита (см. табл. 2); экстремально высокое его содержание в эпифитоне с рдеста обусловлено большой массой обрастаний, приходящейся на 1 см<sup>2</sup> поверхности или 1 г сухой массы макрофита (см. табл. 1). При расчете на сухую массу эпифитона результат противоположный - доля хлорофилла в обрастаниях рдеста оказалась минимальной (0,04 %), а для эпифитона с остальных макрофитов составила 0,10±0,05 %, что типично для обрастаний макрофитов оз. Нарочь [11]. На долю феопигментов в общем форбине приходилось от 5 до 34 %.

Таким образом, исследованные макрофиты заметно различались по уровню развития, структуре и активности эпифитона. Сопоставление уровней продукционно-деструкционных процессов эпифитона, определенного в суспензии и рассчитанного по разности между относительно ненарушенной системой макрофит - обрастание и очищенным макрофитом, представлено в табл. 3.

Деструкция органического вещества в опытах изменялась в значительных пределах: в относительно ненарушенной системе макрофит - эпифитон - от 3,81 до 58,74 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут, в варианте с очищенным от эпифитона макрофитом - от 3,50 до 43,99 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут, в суспензии эпифитона - от 0,41 до 6,99 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут в расчете на поверхность макрофита. Максимальные величины деструкции получены в опытах с неочищенным и очищенным от эпифитона рогозом, очищенным рдестом и в суспензии эпифитона с рдеста (см. табл. 3).

Деструкция в опытах с очищенными от эпифитона фрагментами макрофитов составляла от 65 до 92 % (в среднем 77 %) от величин, полученных в опытах с ненарушенными макрофитами. Исключение составляет опыт с рдестом, где

уровень деструкции очищенного макрофита почти в 1,5 раза превышал таковой неочищенного фрагмента.

Валовая первичная продукция также изменялась в значительных пределах и составляла 6,14-97,38 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут в системе макрофит - эпифитон, 1,51-120,59 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут - в опытах с очищенным от эпифитона макрофитом и 0,31-9,57 O<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>-сут - в суспензии эпифитона в расчете на поверхность макрофита. Экстремально высокие величины отмечены в вариантах с неочищенным и очищенным рдестом (как и в случае с деструкцией, с превышением значений в варианте с очищенным растением), а также в суспензии эпифитона с рдеста.

Таблица 3

Деструкция органического вещества и валовая первичная продукция в системе макрофит – эпифитон (С), суспензии эпифитона (Э) и очищенном от обрастаний макрофите (М)

Дата	Макрофит	Деструкция					Валовая первичная продукция				
		мг O <sub>2</sub> / дм <sup>2</sup> поверхности макрофита:сут мг O <sub>2</sub> / г сухой массы макрофита:сут					мг O <sub>2</sub> / г сухой массы макрофита:сут				
		С	Э	М	Расчет (С-М)	Э/(С-М), %	С	Э	М	Расчет (С-М)	Э/(С-М), %
20.07	Тростник*	12,62	0,41	9,44	3,18	13	12,51	1,42	4,83	7,68	18
		3,37	0,11	2,52	0,85		3,34	0,38	1,29	2,05	
28.07	Тростник	40,82	2,24	33,11	7,71	29	27,51	1,34	11,98	15,53	9
		15,88	0,87	12,88	3,00		10,70	0,52	4,66	6,03	
03.08	Тростник	42,29	5,48	35,10	7,19	76	40,80	2,84	16,45	24,35	12
		15,35	1,99	12,74	2,60		14,81	1,03	5,97	8,84	
16.08	Тростник	9,52	0,65	7,48	2,04	32	6,14	0,31	1,51	4,63	7
		9,52	0,65	7,48	2,04		6,14	0,31	1,51	4,63	
01.09	Тростник	14,51	1,10	10,16	4,35	25	7,47	0,53	3,55	3,92	14
		15,80	1,20	11,06	4,73		8,13	0,58	3,87	4,35	
04.09	Тростник	27,33	2,44	17,78	9,55	26	39,49	3,13	7,33	32,16	10
		4,81	0,43	3,13	1,68		6,95	0,55	1,29	5,66	
11.08	Рогоз	58,74	2,03	43,99	14,75	14	35,26	1,02	21,88	13,38	8
		162,99	5,63	122,06	40,93		97,85	2,82	60,72	37,13	
11.08	Рдест	28,09	6,99	41,47	-13,38	-	97,38	9,57	120,59	-23,21	-
		30,23	7,52	44,62	-14,39		104,78	10,30	129,75	-24,97	
01.09	Камыш	3,81	0,63	3,50	0,31	203**	7,62	0,59	4,35	3,27	18
		10,14	1,67	9,32	0,82		20,26	1,57	11,57	8,69	
Среднее ±SD		-	-	-	-	31 ± 21	-	-	-	-	11 ± 4

Примечание. \*Экспозиция 5 ч, в остальных опытах – 1 сут; \*\*исключено из расчета среднего значения.

Валовая первичная продукция очищенных от эпифитона фрагментов макрофитов составляла от 19 до 62 % (в среднем 42 %) от величин, полученных в опытах с ненарушенными фрагментами макрофитов, что несколько ниже соответствующего показателя для деструкционных процессов. Экстремальное значение - 124 %, как и для деструкции, зарегистрировано в опыте с рдестом. Столь значительная активизация продукционно-деструкционных процессов в тканях рдеста после осторожной механической очистки поверхности обусловлена, вероятно, потерей ингибирующего эффекта слоя карбоната кальция на поверхности растения.

Сопоставление уровня продукционно-деструкционных процессов, полученных в опытах с суспензией эпифитона, и расчетных величин его активности (разность между показателями относительно ненарушенных и очищенных от обрастаний фрагментов растений) показало, что величины продукции и деструкции в смывом эпифитоне существенно ниже, чем в обрастании на растении. Так, продукция эпифитона, смывого с тростника, составила в среднем 11±4 % от расчетной, деструкция - 33±22 %. Близкие величины получены для обрастаний рогоза (соответственно 8 и 14 %), хотя абсолютные значения уровня продукционно-деструкционных процессов, рассчитанные на единицу сухой массы растения, оказались в несколько раз выше (см. табл. 3). Вероятно, это связано с тем, что листья рогоза имеют большую площадь поверхности, приходящуюся на единицу сухой массы, по сравнению с тростником (см. табл. 1). Что касается камыша, то здесь продукция, определенная в суспензии, составила 18 % от расчетной величины (т. е. близко к таковой для тростника и рогоза), тогда как расчетные величины деструкции были вдвое ниже, чем в суспензии эпифитона, что трудно объяснимо. Для рдеста подобные расчеты оказались некорректными

в связи с превышением уровня продукционно-деструкционных процессов в очищенном макрофите по сравнению с ненарушенным.

Таким образом, на примере обрастаний воздушно-водной растительности (тростник, рогоз и камыш) показана слабая сопоставимость результатов определения продукционно-деструкционных параметров двумя исследованными методами. В суспензии эпифитона уровень деструкции органического вещества составляет 30 %, а валовой первичной продукции - всего лишь около 10 % от рассчитанного для относительно ненарушенного сообщества. Для рдеста подобные расчеты оказались некорректными в связи с превышением уровня продукционно-деструкционных процессов очищенного макрофита по сравнению с ненарушенным.

1. Wetzel R.G. // *Periphyton of freshwater ecosystems* / Ed. R.G. Wetzel. Dr. W. Junk. Publ. Hague, 1983.

2. Макаревич Т.А. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы Междунар. науч. конф., Минск; Нарочь, 20-25 сент. 1999 г. / Под ред. Т.М. Михеевой. Мн., 2000. С. 219.

3. Комулайнен С.Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск, 2003.

4. Drake L.A., Dobbs F.S., Zimmerman R.C. // *Limnol. Oceanogr.* 48. 2003. Vol. 1. Pt. 2. P. 456.

5. Delbecq E.J.P. // *Periphyton of freshwater ecosystems* / Ed. by R.G. Wetzel. Hague, 1983. P. 41.

6. Анохина Л.Е. // Структурно-функциональная организация пресноводных экосистем разного типа: Тр. Зоол. ин-та РАН. СПб., 1999. Т. 279. С. 195.

7. Юрченко В.В. // *Гидробиол. журн.* 1977. Т. 13. № 4. С. 49.

8. Ал и м о в А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л., 1989.

9. SCOR-UNESCO Working group № 17. Paris, 1966. P. 9.

10. Lorenzen C.J. // *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. P. 343.

И. Макаревич Т.А. Перифитон и его роль в продукции органического вещества и миграции радионуклидов в озерных экосистемах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 1995.

Поступила в редакцию 07.04.05.

**Анна Анатольевна Жукова** - младший научный сотрудник НИЛ гидроэкологии.

УДК 582.4/9 +582.42/49

Т.А. САУТКИНА, Е.А. МОЛЧАН

## АНАТОМИЯ ЛИСТА КАК ИСТОЧНИК ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПОДРОДЕ *FESTUCA* РОДА *FESTUCA* L. (СЕМ. GRAMINEAE)

Anatomic attributes of leaves of vegetative shoots of fescues in subgenus *Festuca* and genus *Festuca* L. are resulted. The key for definition to anatomic attributes of narrow fescues revealed in flora of Belarus is given.

Определение овсяниц с широкими листьями - *Festuca pratensis* Huds., *F altissima* All., *F arundinacea* Schreb., *F gigantea* (L.) Vill. не вызывает особых затруднений, так как они обладают довольно хорошо выраженными морфологическими признаками. На территории Беларуси встречаются также узколистные овсяницы из подрода *Festuca*; *F. ovina* L., *F polesica* Zapal., *F rubra* L., *F sabulosa* (Anderss.) Lindb. fil., *F teriuiifolia* Sibth., *F trachyphylla* (Hack.) Krajina, *F valesiaca* Gaudin [1], при определении которых возникают значительные трудности. Это вызвано большим сходством морфологических признаков отдельных видов, а иные критерии идентификации, в частности анатомические, разработаны недостаточно.

Как известно, анатомические признаки являются более стабильными, чем морфологические. Это позволяет использовать их в качестве надежных диагностических признаков. Особенно широко применяют в этих целях анатомические признаки строения черешка листа у представителей семейства Umbelliferae - Зонтичные, о чем свидетельствуют многочисленные научные публикации.

К сожалению, для других семейств, в том числе и для злаков, за редким исключением, анатомические данные в определителях отсутствуют.