

УДК 574.55

**Каарел ВИЛЬБАСТЕ**

## ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОВОДНОЙ БУХТЫ

В настоящее время резко возрос интерес к прибрежным зонам морей. Эти районы находятся под непосредственным влиянием человеческой деятельности, в то же время они являются местами размножения промысловых рыб и рекреационной зоной. Загрязнение прибрежных вод нарушает воспроизводство запасов нерестующих там рыб, ухудшает качество воды и возможности использования прибрежной зоны моря в целях рекреации. Особое внимание следует обращать на эвтрофикацию прибрежных вод, так как это явление обычно влияет на качество воды косвенным путем, через повышение продуктивности автотрофных и гетеротрофных организмов (Järvekülg, 1982). Первичную продукцию в прибрежных водах дают фитопланктон, макро- и микрофитобентос. Предполагается, что около 10% дна Балтийского моря пригодно для жизни первичных продуцентов (Jaansson, 1972; Elmgren, 1984).

Для первоначального исследования продукционных характеристик прибрежных морских вод Эстонии была выбрана Рамеская бухта, район, минимально подвержен влиянию человеческой деятельности. Экспедиция для изучения биологических характеристик бухты была проведена в начале июля 1982 г. сотрудниками сектора морской биологии Института зоологии и ботаники АН ЭССР. Автор признателен сотрудникам сектора за помощь в проведении многосуточного эксперимента и выражает им искреннюю благодарность.

### Краткая характеристика бухты

Рамеская бухта находится на западном побережье Эстонской ССР, южнее пролива Суур-Вяйн, между п-овом Пухту и лесолугом Лаэлату (рис. 1). Ее длина 3, ширина 1 км. Примерно 70% массы воды находится на площади, где глубина варьирует от 1 до 2 м. Бухту соединяет с Рижским заливом узкий мелководный пролив, сечением примерно 1000 м<sup>2</sup>. Этот район характеризуется циклическими колебаниями уровня воды (Паппел, 1983), достигающими 0,5 м/сут. Вычисления показывают, что в таком случае в бухте обновляется до 40% воды и в связи с этим происходит интенсивное перемешивание водных масс.

### Методика

Теоретической основой эксперимента служило предположение, что суточные колебания растворенного в воде кислорода обусловлены фотосинтезом всей автотрофной экосистемы (фитопланктона, макро- и микрофитобентоса). Ассимиляция радиоуглерода выражает только первичную продукцию фитопланктона. Анализ этих данных позволяет выявить продукцию всех автотрофных организмов экосистемы. Для вычисления про-

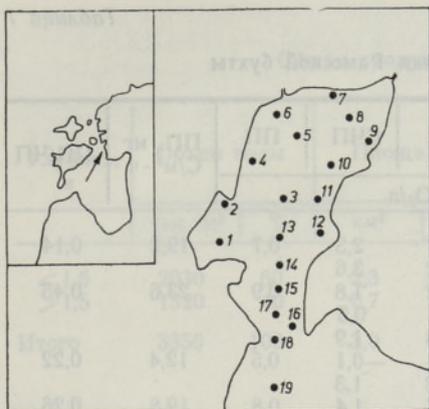


Рис. 1. Расположение Рамеской бухты и схема станций исследования продуктивности. Ст. 20 находится вне бухты, в открытых водах Рижского залива.

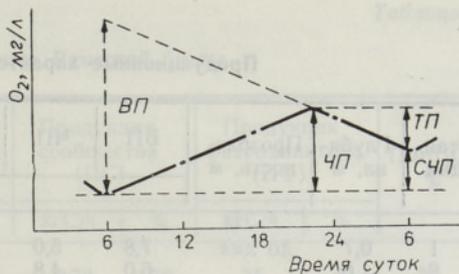


Рис. 2. Определение продукционных характеристик по концентрации кислорода (Tijssen, Eijgenraam, 1982). ВП — валовая продукция, ЧП — чистая продукция, ТП — потери за темное время суток, СЧП — суточная чистая продукция.

дукционных характеристик использовали методику Тийссена и Эйгенраама (Tijssen, Eijgenraam, 1982) (рис. 2). Растворенный в воде кислород измеряли в безветренный день (в этом случае диффузия между атмосферой и водой минимальна и в эксперименте не учитывалась) и определяли на анализаторе кислорода ИТ-8001М изготовленном на кафедре неорганической химии ТГУ. Измерения проводили с мотолодki в течение 30 ч (интервалом в 6 ч) и один раз перед экспериментом.

Ассимиляцию углерода фитопланктоном измеряли радиоуглеродным методом. Пробы воды брали пластмассовым батометром и при помощи сифона заливали в склянки емкостью 120 мл, куда добавляли радиоуглерод в виде бикарбонатного раствора. Склянки экспонировали в инкубаторе при искусственном освещении (20000 лк) и естественной температуре. На одной из станций заполняли склянки также для экспонирования *in situ* на глубине 1 м. Результаты измерений на этой станции брали за основу калибровки результатов инкубаторных проб. После инкубирования склянок пробы пропускали через мембранные фильтры типа «Millipore» с диаметром пор 0,45 мкм. Радиоактивность фильтров измеряли на жидком-сцинтиляционном счетчике ЛКВ «Rackbeta» (Швеция). Эффективность счета определяли методом внешнего стандарта.

Коэффициент сравнения кислородных и радиоуглеродных продукционных данных 2,13 (Федоров, 1979). Валовая первичная продукция экосистемы бухты определена графически и имеет приблизительный характер. Измерения продукционных характеристик проводили на 20 станциях (рис. 1).

В настоящей статье рассматриваются вопросы, касающиеся только первичной продукции экосистемы бухты.

### Результаты и обсуждение

Концентрация растворенного в воде кислорода имела в период эксперимента ярко выраженный суточный ритм. Минимальная концентрация наблюдалась перед восходом солнца, а максимальная — перед заходом. Главные продукционные характеристики приведены в табл. 1.

## Продукционные характеристики Рамеской бухты

Станция	Глубина, м	Прозрачность, м	ВП	ЧП	ТП	СЧП	ПП	ПП, мг С/м <sup>3</sup> · ч	ПП/ЧП
1	0,7	до дна	7,8	5,0	2,7	2,3	0,7	19,2	0,14
2	1,0	„	6,0	4,8	1,2	3,6			
3	1,6	„	2,8	2,0	0,2	1,8	0,9	23,6	0,45
4	0,9	„	2,2	1,4	0,9	0,5			
5	1,2	„	3,2	2,7	0,8	1,9			
6	0,8	„	3,6	2,3	2,4	-0,1	0,5	12,4	0,22
7	1,0	„	4,0	2,1	0,8	1,3			
8	1,0	„	8,5	3,1	1,7	1,4	0,8	19,8	0,26
9	1,0	„	6,5	3,4	1,5	1,9			
10	1,5	„	6,8	3,7	0,9	2,8	0,7	18,2	0,19
11	1,5	„	3,5	3,3	0,4	2,9			
12	1,5	„	3,0	1,8	1,1	0,7	1,3	34,6	0,72
13	1,5	„	3,4	2,7	1,1	1,6			
14	2,0	„	4,8	2,0	1,3	0,7	1,2	31,7	0,60
15	2,2	„	2,0	1,5	0,9	0,6			
16	3,0	2,0	2,5	1,7	-0,2	1,9			
17	2,7	2,0	3,8	2,0	0,6	1,4	1,2	30,4	0,6
18	3,1	1,5	3,8	2,4	1,2	1,2			
19	3,5	1,5	4,0	2,2	0,6	1,6	0,9	23,3	0,41
20	4,5	1,5	4,0	1,2	0,8	0,4	1,2	32,0	1,00

ВП — валовая продукция, ЧП — чистая продукция, ТП — потери за темное время суток, СЧП — суточная чистая продукция, ПП — первичная продукция фитопланктона.

На обширных мелководных участках бухты (ст. 1, 2, 8, 9) чистая первичная продукция О<sub>2</sub> экосистемы намного выше, чем продукция фитопланктона; высокие также показатели валовой первичной продукции. Это обстоятельство можно объяснить как результат фотосинтетической активности обильных донных макро- и микрофитов, находящихся здесь благоприятные условия для обитания. По неопубликованным данным Т. Трей, дно мелководной (<1 м) западной части бухты покрыто густой макрофлорой, биомасса которой составляет до 500 г/м<sup>2</sup>.

В то же время в северной части бухты (вблизи ст. 8) макрофиты почти отсутствуют, но обильно представлены микроводоросли бентоса. Биомасса микрофитобентоса составляет там 17 г/м<sup>2</sup> (данные С. Вильбасте).

Продукция микроводорослей из-за большой численности и высокой активности на мелководьях Балтийского моря в четыре раза больше, чем продукция макрофитов (Elmgren, 1984).

Первичная продукция фитопланктона, определенная <sup>14</sup>C-методом и пересчитанная на мг О<sub>2</sub>/л изменяется во время светового дня мало (0,7—1,3). Однако следует отметить, что в очень мелководных частях бухты (глубина <1,5 м) она немного ниже, чем в более глубоких. Продуктивность в открытых водах Рижского залива (ст. 19 и 20) такая же, как в водах более глубоких частей Рамеской бухты. Можно предполагать, что во время эксперимента в бухту поступало много продуктивных и мутных (см. прозрачность табл. 1) вод Рижского залива вследствие повышения уровня моря на несколько десятков сантиметров. Конкретных измерений течений у входа в бухту мы не проводили. Первичная продукция фитопланктона составляет в мелководных частях бухты менее 25% общей продуктивности, остальная часть должна падать на фитобентос. При передвижении в направлении открытых вод Рижского залива доля фитопланктона в общей первичной продуктивности постепенно увеличи-

Общая продуктивность Рамеской бухты

Глубина, м	Объем воды		Площадь		Продукция сообщества (ПС)		Продукция фитопланктона (ПФ)		ПФ/ПС, %
	тыс. м <sup>3</sup>	%	км <sup>2</sup>	%	кгС/ч	%	кгС/ч	%	
≤ 1,5	2030	60	2,3	77	173	70	35	47	20
> 1,5	1320	40	0,7	23	74	30	40	53	54
Итого	3350	100	3,0	100	247	100	75	100	

вается до 100%. Наблюдались и некоторые аномальные участки, например на ст. 12, где биомасса донных макрофитов очень высокая (по данным Т. Трей до 2750 г/м<sup>2</sup>), но основную часть продукции все же дает фитопланктон. Противоположное отмечается на ст. 19, где доля продукции фитопланктона составляет лишь 40%, хотя фитобентос на этой глубоководной станции с каменистым дном почти отсутствует. Здесь наблюдается чрезвычайно мало и зоопланктона (данные К. Ремма). Причина этой аномалии не выявлена, но можно предположить, что это связано с перемещением вод во время проведения эксперимента.

Для установления суммарной первичной продукции Рамеской бухты мы отдельно вычислили продукцию для районов с глубинами до 1,5 м и больше. Результаты выражены в килограммах усвоенного углерода в час (табл. 2).

Из нашего эксперимента следует, что в мелководной Рамеской бухте значительная доля общей первичной продукции приходится на бентосные автотрофы — до 70%. Фитопланктон дает в более мелководной (до 1,5 м) части бухты (занимающей около 77% площади и 60% объема) только 20%, в более глубокой части (>1,5 м) — примерно 50% от общей первичной продукции.

На мелководных участках бухты гетеротрофная активность высокая, о чем свидетельствуют заметные потери за темное время суток и высокая валовая первичная продукция при относительно скромной чистой первичной продукции. Непосредственным доказательством этого является обилие зоопланктона на этих участках. По неопубликованным данным К. Ремма, биомасса зоопланктона на мелководных участках бухты может быть на порядок выше, чем в открытых водах Рижского залива.

Полученные результаты предварительные и не претендуют на высокую статистическую достоверность, но дают общую картину о распределении первичной продуктивности морских сообществ прибрежных вод. При дальнейшем исследовании этого направления необходим еще более комплексный подход, включающий, кроме биологических параметров, физические (движение вод, световой и температурный режимы) и химические (диффузионный обмен газов с атмосферой, определение генерационных циклов питательных элементов).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М., 1979.  
 Паппел И. К. Вертикальная структура моря в прибрежной зоне. — В сб.: Исследования изменчивости оптических свойств Балтийского моря. Таллин, 1983, 144—168.  
 Elmgren, R. Trophic dynamics in the enclosed, brackish Baltic Sea. — Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 1984, 183, 152—169.

- Jansson, B.-O. Ecosystem approach to the Baltic problem. — Bull. from the Ecological Research Committee No 16. Swedish Natural Science Research Council, 1972.
- Järvekülg, A. Läänemere antropogeenne eutrofeerumine. — Eesti NSV rannikumere kaitse. Tallinn, 1982, 15—25.
- Tijssen, S. B., Eijgenraam, A. Primary and community production in the southern bight of the North Sea deduced from oxygen concentration variations in the spring of 1980. — Netherl. j. sea res., 1982, 16, 247—258.

Институт зоологии и ботаники  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
10/IV 1986

**Kaarel VILBASTE**

### PRODUKTSIOONIST MADALAS MERELAHES

Madala rannikumere algproduktiooni uurimiseks valiti välja Rame laht, mis asub Riia lahe põhjaosas Puhtu poolsaare ja Laelatu puisniidu vahel. Lahe pindala on ca 3 km<sup>2</sup>, keskmine sügavus 1,5 m. Fütoplanktoni algproduktiooni mõõtmiseks kasutati <sup>14</sup>C-meetodit, lahe ökosüsteemi koguproduksioon leiti hapnikumeetodil. Mõõtetulemuste võrdlemisel kasutati koefitsienti 2,13.

Lahe vee hapnikusisalduses täheldati seaduspärasest ööpäevast muutust. Põhilised produktiooniparameetrid on toodud tabelis 1. Lahe lääne- ja keskosas on ökosüsteemi algproduksioon märgatavalt suurem kui fütoplanktoni produktioon. Selle põhjuseks on arvukate makrofüütide esinemine nendes piirkondades. Lahe põhjaosas on aga palju mikrofütobentose vetikaid.

Mõõtmistulemustest selgub, et 70% lahe ökosüsteemi algproduktioonist annavad bentilised makro- ja mikrofüüdid. Fütoplanktoni algproduksioon on madalatel aladel (alla 1,5 meetri) 20%, sügavamatel aladel (1,5—5 m) kuni 50% lahe koguproduktioonist.

Toodud tulemused on esialgsed. Edaspidised uuringud tuleb teha komplekssemalt: mõõta lisaks bioloogilistele ka füüsikalisi (vee liikumine, valgus- ja temperatuurirežiim) ja keemilisi (gaasivahetus atmosfääriga, biogeenide regeneratsioon) parameetreid.

**Kaarel VILBASTE**

### PRIMARY PRODUCTIVITY OF A SHALLOW INLET

For the productivity studies of shallow marine areas Rame Inlet in the northern part of the Gulf of Riga near the Moonsund Archipelago was chosen. This small inlet has a surface area of about 3 km<sup>2</sup> and its mean depth is about 1.5 m. The bay is unpolluted and uninfluenced by sewage.

The primary production of phytoplankton was measured by means of the radiocarbon technique, the primary production and dark losses of the inlet community by means of the oxygen-curve technique according to S. B. Tijssen and A. Eijgenraam (1982). All measurements were carried out in a calm day and no oxygen exchange with the atmosphere was taken into consideration. For the comparison of <sup>14</sup>C and O<sub>2</sub> production data a coefficient 2.13 was used. Oxygen concentrations were measured with an oxygen electrode at 20 stations simultaneously during 30 hours.

A clear diurnal pattern in the oxygen concentration was observed in the inlet water. The main production data are presented in Table 1. It is obvious that the community production was much higher than the phytoplankton production in most areas. In the central and western part of the inlet it was caused by the production of benthic macrophytes, which were very abundant there, up to 500 g per m<sup>2</sup> (Trei, pers. comm.). In the northern part macrophytes were mostly absent, but there existed a dense bottom microphyte community (up to 17 g per m<sup>2</sup> — S. Vilbaste, pers. comm.).

The results of our measurements showed that 70 per cent of the inlet community gross primary production came from bottom macro- and microphytes. In very shallow areas where the depth was less than 1.5 m, phytoplankton gave only 20 per cent of the total production. In deeper areas where the depth was from 1.5 to 5 m, phytoplankton was responsible for about a half of the primary production.

These results are preliminary with no statistical treatment. Further studies in coastal areas need a more complex approach, physical and chemical measurements are also needed.