

Д. П. Филиппенко

**ФИЛЬТРАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ МОЛЛЮСКОВ
MYA ARENARIA L. (BIVALVIA)
В ЭСТУАРИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

51

Отмечается, что В эстуариях Южной Балтики двустворчатые моллюски *Mya arenaria* способны утилизировать в среднем 6,5% первичной продукции водоемов. Расчетная оценка фильтрационной активности этих моллюсков показала, что они могут фильтровать в сутки в среднем $2,41 \pm 1,01$ м³ воды на 1 м² дна. За вегетационный сезон моллюски в состоянии осветлять примерно 380 м³ воды в эстуариях, удаляя из нее около $558,9 \pm 65,7$ г взвешенного органического вещества.

*This article argues that, in the estuaries the South Baltic, the bivalve molluscs *Mya arenaria* are capable of consuming an average of 6.5 % of the water body primary production. A numerical assessment of the filtration rate of these molluscs shows that they can filter daily an average of 2.41 ± 1.01 m³ of water per a square meter of the river bed. During the vegetation season, molluscs can clear approximately 380 m³ of water in estuaries removing up to 558.9 ± 65.7 g of suspended organic matters.*

Ключевые слова: моллюски, фильтрация, эстуарии, Балтийское море.

Key words: molluscs, filtration, estuaries, Baltic Sea.

Введение

Закономерности фильтрационного питания организмов могут использоваться для количественной оценки их роли в очищении водоемов. Существенный вклад в трансформацию вещества и энергии вносят двустворчатые моллюски, извлекая из воды фитопланктон и взвешенное органическое вещество и тем самым участвуя в циркуляции биогенных элементов и осадконакоплении в водоемах. Фильтруя воду, эти моллюски способны аккумулировать различные токсины, окислять органическое вещество и (в некоторой степени) регулировать трофность водоемов [1; 3; 5; 10]. Двустворчатые моллюски *Mya arenaria* — доминирующий по биомассе вид в мелководных эстуариях южного побережья Балтийского моря [6]. Цель настоящей работы — определить фильтрационную активность *M. arenaria* и оценить ее роль в утилизации первичной продукции и осветлении воды в эстуариях южной части Балтийского моря.

Материал и методика

Материал для исследований был собран в трех эстуарных водоемах южной части Балтийского моря (южнее 54°38' N и между 11°30' и 13°21' E): в лагуне Дарсс-Цингст (*Darss-Zingst Bodden chain*, далее — DZBC), Рю-



генской лагуне и заливе Зальцхафф. В первых двух водоемах материал отбирался на 14 станциях дночерпателем Петерсена (0,025 м²), ежемесячно с апреля по сентябрь 2011 г., на глубинах 2–6 м. В заливе Зальцхафф пробы были отобраны на 3 станциях литорали (0,5 м) ручным пробоотборником (0,0086 м²) в августе 2011 г. На каждой станции пробы отбирали в 2–4 повторах, моллюсков фиксировали 70 %-ным спиртом. Придонные температуру (°С) и соленость воды (‰) измеряли на станциях в момент сбора проб прибором HQ30d (Hach Company, USA).

Экземпляры *M. arenaria* промерялись и взвешивались на весах с точностью до 0,1 мг. Определялась сырая масса без раковины после просушивания моллюсков на фильтровальной бумаге. Для оценки фильтрационной активности *M. arenaria* были рассчитаны составляющие потока энергии (ассимиляции) — продукция (P) и траты на обмен (R) физиологическим способом [4]. Траты на обмен и масса связаны между собой функцией (мг O₂ ч⁻¹) [2]:

$$R = Q_1 \cdot 24 \cdot OK \cdot \gamma^{-1}, \quad (1)$$

где Q_1 — скорость потребления кислорода, мг O₂/г ч; OK — оксикалорийный коэффициент (14,2 Дж/мг O₂); γ — температурная поправка.

Коэффициенты уравнения скорости потребления кислорода в зависимости от массы были взяты из работы А. Ф. Алимова [2]. Рацион (C) был рассчитан как отношение потока энергии (сумма продукции и трат на обмен) к величине усвояемости пищи (α), заимствованной из работ Е. А. Цихон-Луканиной [7]. Данные о первичной продукции и концентрации взвешенного органического вещества в эстуариях — из работ [9; 12; 14].

Эффективность фильтрации моллюсков рассчитывалась по уравнению степенной зависимости скорости фильтрации от массы [1]:

$$F = mW^n, \quad (2)$$

где F — скорость фильтрации, л сут⁻¹; W — масса, г; m, n — коэффициенты. Статистическую обработку проводили в программе *MS Excel*.

Результаты и обсуждение

В процессе дыхания моллюски рассеивают в окружающее пространство энергию, эквивалентную потребленному ими кислороду или деструкции определенного количества органических веществ [4].

Изученные эстуарии по трофическому статусу можно отнести к переходным от эвтрофных к мезотрофным. По данным У. Шивера [12; 14], величина первичной продукции в лагуне *DZBC* (в районах расселения *M. arenaria*) составляет 100–135 г С м⁻² год⁻¹, а суточная продукция — около 0,32 г С м⁻² год⁻¹, что эквивалентно 15,07 кДж м⁻² сут⁻¹. Расчетная величина рациона *M. arenaria* в лагуне *DZB*

С колебалась от 0,14 до 0,94 кДж м⁻² сут⁻¹, составив в среднем за вегетационный сезон $0,42 \pm 0,31$ кДж м⁻² сут⁻¹. В течение сезона моллюсками утилизируется от 0,9 до 6,2 % первичной продукции этого водоема.



В Рюгенской лагуне годовая первичная продукция составляет около $187,6 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, суточная — $0,51 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, или $24,02 \text{ кДж м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ [9]. При среднесуточном рационе моллюсков в $0,58 \pm 0,15 \text{ кДж м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ можно судить о величине изъятия — 2,4 % — первичной продукции водоема. В течение сезона моллюски могут утилизировать от 1,5 до 3,2 % величины первичной продукции.

Залив Зальцхафф У. Шивер [13] характеризует как мезотрофный. Приняв среднюю суточную величину первичной продукции для подобных водоемов равной $0,18 \text{ г С м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ (или $8,38 \text{ кДж м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$), можно рассчитать, что при среднесуточном рационе $1,22 \pm 0,58 \text{ кДж м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ моллюски *M. arenaria* способны утилизировать до 14,5 % количества первичной продукции водоема (табл. 1).

Таблица 1

Утилизация первичной продукции моллюсками *Mya arenaria* в водоемах:
 С — рацион, ПП — первичная продукция, U — утилизация
 первичной продукции. Указаны средние значения $\pm SE$ (ошибка средней)

Параметр	Лагуна DZBC	Рюгенская лагуна	Залив Зальцхафф
Соленость, ‰	$4,6 \pm 1,5$	$8,2 \pm 0,3$	$10,1 \pm 0,6$
ПП, кДж м ⁻² сут ⁻¹	15,07	24,02	8,39
С, кДж м ⁻² сут ⁻¹	0,14 – 0,94 ($0,42 \pm 0,31$)	0,36 – 0,78 ($0,58 \pm 0,15$)	$1,22 \pm 0,58$
U, %	0,9 – 6,2 ($2,7 \pm 2,0$)	1,5 – 3,2 ($2,4 \pm 0,6$)	$14,5 \pm 6,8$

Скорость фильтрации воды двустворчатыми моллюсками возрастает пропорционально увеличению их размера и массы, количественное выражение зависимости аппроксимируется степенным уравнением (2). Для *M. arenaria* уравнение зависимости скорости фильтрации от массы имеет следующий вид [11]:

$$F = 4,76 \cdot W^{0,71} \quad (3)$$

На основе уравнения (3) и данных по средней массе и плотности поселения *M. arenaria* в лагунах были рассчитаны фильтрационные возможности моллюсков. Эффективность фильтрации *M. arenaria* оказалась наиболее высокой в Рюгенской лагуне. Моллюски способны осветлять в среднем $76,6 \pm 19,1$ л воды на каждый миллиграмм потребленного кислорода. Более низкие значения коэффициентов фильтрации *M. arenaria* были установлены для популяций этого вида в лагуне DZBC и заливе Зальцхафф, где они способны пропускать объем воды примерно $57,5 - 65,6$ л на мг потребленного ими кислорода. Средний показатель коэффициента фильтрации *M. arenaria* для всех трех водоемов составил $66,5 \pm 7,83$ л мг O₂⁻¹ (табл. 2).

Поселения *M. arenaria* способны отфильтровать в сутки от $0,33$ до $3,50 \text{ м}^3$ воды, в среднем около $2,41 \pm 1,01 \text{ м}^3$ на 1 м^2 дна. В среднем объем воды, фильтруемый моллюсками за месяц в лагунах, по расчетам, составлял около $72,5 \pm 3,34 \text{ м}^3$ на 1 м^2 дна. За вегетационный сезон (апрель — сентябрь) моллюски способны осветлять объемы воды от 150 до $511 \text{ м}^3 \text{ м}^{-2}$, в среднем $380 \pm 16,5 \text{ м}^3 \text{ м}^{-2}$.

Расчет фильтрационной способности *Mya arenaria*:

R – траты на обмен, F – скорость фильтрации особи со средней массой, Q – коэффициент фильтрации, V_m – объем воды, фильтруемый популяцией моллюсков на 1 м^2 в течение суток / месяца / сезона.

Указаны средние значения $\pm SE$ (ошибка средней)

Параметр	Лагуна DZBC	Рюгенская лагуна	Залив Зальцхафф
R , мг O_2 сут $^{-1}$	0,06–0,16 (0,12 \pm 0,04)	0,10–0,18 (0,09 \pm 0,04)	2,74 \pm 1,29
F , л сут $^{-1}$	4,04–11,43 (6,94 \pm 2,61)	4,13–11,79 (7,18 \pm 2,62)	179,4 \pm 84,6
Q , л мг O_2 $^{-1}$	47,8–75,6 (57,5 \pm 10,6)	56,9–113,3 (76,6 \pm 19,1)	65,6 \pm 30,9
V_m , м 3 м $^{-2}$ сут $^{-1}$	0,33–1,90 (1,03 \pm 0,57)	1,56–3,50 (2,81 \pm 0,77)	3,41 \pm 1,61
V_m , м 3 м $^{-2}$ мес $^{-1}$	10,0–57,1 (30,8 \pm 17,0)	46,7–108,2 (84,4 \pm 23,0)	102,3 \pm 48,2
V_m , м 3 м $^{-2}$ за сезон	150,9 \pm 85,2	492,4 \pm 115,1	511,5 \pm 127,4

Суточные величины объемов осветляемой моллюсками воды оказались довольно близкими к значениям, установленным для поселений *M. arenaria* из открытой Балтики [8]. По данным авторов [8], использовавших для расчетных оценок те же коэффициенты зависимости скорости фильтрации от массы (3), суточный объем воды, фильтруемый моллюсками, варьировал от 1 до 8 м 3 воды на 1 м 2 площади дна, составляя в среднем 4,6 м 3 м $^{-2}$ сут $^{-1}$.

Эффективность фильтрации морских моллюсков намного выше, чем пресноводных, что связано с адаптацией к обитанию в водоемах с низким содержанием в воде взвешенных органических веществ [5].

Ориентировочный расчет количества потребляемой пищи *M. Arenaria* позволяет предположить, что при содержании взвешенного органического вещества в толще воды, равного 80 мг л $^{-1}$ [14], моллюски способны получать 3,72 \pm 0,44 г органического вещества при потреблении ими 1 мг кислорода. Этот показатель оказался довольно близким у трех исследованных водоемов (DZBC – 3,22 г мг O_2 $^{-1}$; Рюгенская лагуна – 4,29 г мг O_2 $^{-1}$; залив Зальцхафф – 3,67 г мг O_2 $^{-1}$) и достоверно между ними не различался.

Заключение

Таким образом, количественная оценка фильтрационной роли моллюсков *M. arenaria* в очищении водоемов определяется их способностью утилизировать в процессе фильтрации от 0,9 до 14,5%, или в среднем 6,5%, объема первичной продукции, создаваемой автотрофами в лагунах южной части Балтийского моря. Поселения *M. arenaria* эстуариев способны фильтровать в среднем за сутки 2,41 \pm 0,56 м 3 воды на 1 м 2 дна. За вегетационный сезон моллюски в состоянии осветлять около 380 м 3 воды в лагунах, удаляя при этом из нее 558,9 \pm 65,7 г взвешенного органического вещества.



Благодарности

Исследования проведены при финансовой поддержке Германского федерального фонда окружающей среды (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), проект №30011/314. Автор благодарит отделение морской биологии Университета г. Ростока (Германия), биостанцию Университета г. Грайфсвальда (Германия) и лично д-ра Свена Дальке за предоставленную возможность исследований.

Список литературы

1. Алимов А.Ф. Некоторые общие закономерности процесса фильтрации у двустворчатых моллюсков // Журн. общ. биол. 1969. Т. 30, №5. С. 621–631.
2. Алимов А.Ф. Интенсивность обмена у пресноводных двустворчатых моллюсков // Экология. 1975. №1. С. 10–20.
3. Алимов А.Ф. Продукция пресноводных двустворчатых моллюсков // Общие основы изучения водных экосистем / под ред. Г.Г. Винберга. Л., 1979. С. 177–180.
4. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л., 1981.
5. Гутельмахер Б.Л., Алимов А.Ф. Количественные закономерности фильтрационного питания водных животных // Общие основы изучения водных экосистем / под ред. Г.Г. Винберга. Л., 1979. С. 57–78.
6. Филиппенко Д.П. Влияние соленостного фактора на формирование поселений моллюсков в лагунах южной части Балтийского моря // Труды Зоологического института РАН: Пятьдесят лет концепции критической солености / под ред. Н.В. Аладина, А.О. Сумрова. 2012. С. 207–214.
7. Цихон-Луканина Е.А. Усвояемость пищи у донных моллюсков // Океанология. 1982. Т. 22, №5. С. 833–837.
8. Forster S., Zettler M.L. The capacity of the filter-feeding bivalve *Mya arenaria* L. to affect water transport in sandy beds // Mar. Biol. 2004. Vol. 144. P. 1183–1189.
9. Hübel H., Wolff Ch., Meyer-Reil L.-A. Salinity, inorganic nutrients and primary production in a shallow coastal inlet in the southern Baltic Sea (Nordrügensch Boddens). Results from long-term observations (1960–1989) // Int. Rev. Hydrob. 1998. Vol. 83. P. 479–499.
10. Loo L.-O., Rosenberg R. Production and energy budget in marine suspension feeding populations: *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule*, *Mya arenaria* and *Amphiura filiformis* // J. Sea Res. 1996. Vol. 35. P. 199–207.
11. Riisgård H. U., Seerup D. F. Filtration rates in the soft clam *Mya arenaria*: effects of temperature and body size // Sarsia. 2003. Vol. 88. P. 416–428.
12. Schiewer U. 30 years' eutrophication in shallow brackish waters – lessons to be learned // Hydrobiologia. 1998. Vol. 363. P. 73–79.
13. Schiewer U. Salzhaff, Greifswalder Bodden, Darß-Zingster Boddenkette: Gewässereutrophierung und Pufferkapazität – ein Vergleich // Rostock. Meeresbiol. Beitr. 2001. Vol. 9. P. 5–19.
14. Schiewer U. Darss-Zingst Boddens, Northern Rügener Boddens and Schlei // Ecology of Baltic coastal waters / Schiewer U. (ED.). Berlin; Heidelberg, 2008. P. 35–85.

Об авторе

Дмитрий Павлович Филиппенко – канд. биол. наук, научный сотрудник департамента биологии университета г. Турку, Финляндия.

E-mail: dmiphi@utu.fi

About the author

Dr Dmitry Filippenko, Research Fellow, Department of Biology, University of Turku, Finland.

E-mail: dmiphi@utu.fi