

УДК [581.526.325:594.124-113-161.3](262.5.04)

## ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM., КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В ПРИБРЕЖЬЕ Г. СЕВАСТОПОЛЯ\*

Поспелова Н. В., Приймак А. С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [nvpospelova@mail.ru](mailto:nvpospelova@mail.ru)

Устойчивость марикультуры, как активно развивающейся отрасли сельского хозяйства, зависит от обеспеченности моллюсков пищей. Наличие и доступность пищи являются одними из основных факторов, лимитирующих рост и размножение двустворчатых моллюсков. Наиболее ценной частью взвешенного вещества для питания моллюсков-фильтраторов являются микроводоросли. Взаимодействие популяций мидий (как естественных, так и искусственных) и фитопланктона в качестве источника пищи известно давно. Установлено, что мидии, питающиеся микроводорослями, имеют более высокие темпы роста и быстрое развитие гонад по сравнению с особями, которые питаются детритом. Целью настоящей работы является сравнительный анализ состава фитопланктона в районе размещения марихозяйства (Севастополь, Чёрное море) и содержания желудков культивируемых мидий *Mytilus galloprovincialis*. Исследования проведены с февраля по август 2020 г. в районе мидийной фермы, расположенной на внешнем рейде Севастополя. Видовой состав и количественные характеристики фитопланктона в воде фермы типичны для прибрежных акваторий Крыма. Сходство состава микроводорослей в пробах воды и содержимом желудков мидий было максимальным в феврале (72 %), весной и летом не превышало 42 %. В пищевом комке мидий наиболее распространены диатомовые — 27 видов, 11 видов относятся к динофитовым водорослям. Наиболее распространённым видом в желудках мидий была динофлагеллята *Prorocentrum micans*. Наряду с планктонными видами отмечено значительное количество бентосных диатомовых водорослей, которые не были встречены в планктоне. Подтверждена избирательность при питании культивируемых мидий микроводорослями. Виды микрофитов, продуцирующих токсины, отмечены в желудках мидий и в воде. Поскольку рост и размножение двустворчатых моллюсков зависят от качества их рациона, для повышения эффективности морского фермерства необходимо учитывать условия, при которых культивируемые моллюски имеют доступную пищу для максимального генеративного и соматического роста.

**Ключевые слова:** марикультура, фитопланктон, *Mytilus galloprovincialis*, спектр питания, содержимое желудков.

### Введение

Моллюски-фильтраторы — один из основных объектов аквакультуры во многих странах. В России марикультура сегодня является активно развивающейся отраслью сельского хозяйства. Устойчивость этой отрасли зависит не только от знаний о воздействии популяций мидий на экосистему, но и от обеспеченности моллюсков пищей. Именно наличие и доступность пищи являются одними из основных факторов, лимитирующих рост и размножение гидробионтов, в том числе двустворчатых моллюсков. Доступность пищи в значительной степени зависит от концентрации, состава и скорости переноса взвешенного в воде вещества [Strohmeier et al., 2008]. Трофически ценной частью взвешенного органического вещества для питания моллюсков-фильтраторов являются микроводоросли, от поступления которых в акваторию фермы зависит эффективность морского фермерства. Видовой состав и количественные показатели микроводорослей

---

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001, а также в рамках темы НИР государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ госрегистрации АААА-А18-118021350003-6).

в прибрежных морских водах характеризуются значительными пространственно-временными колебаниями [Рябушко и др., 2017; Сеничева, 1990; Rouillon et al., 2005]. Качественные и количественные характеристики фитопланктона часто используются для оценки качества вод прибрежных акваторий, для выбора мест размещения марихозяйств. Не менее важным является наблюдение за развитием планктонных микроводорослей в целях контроля качества продукции морских ферм, поскольку в Чёрном море встречаются виды, которые выделяют фитотоксины, способные накапливаться в теле моллюсков. Их концентрация в мидиях может достигать опасных уровней (так называемый «моллюсковый токсикоз») для человека при употреблении морепродуктов в пищу [Рябушко, 2003]. Взаимодействие популяций мидий (как естественных, так и искусственных) и фитопланктона как источника пищи известно давно. Так, установлено, что мидии, питающиеся микроводорослями, имеют более высокие темпы роста и быстрое развитие гонад по сравнению с особями, которые питаются детритом [Иванов и др., 1989]. Известно, что пищевая ценность различных видов микроводорослей для двустворчатых моллюсков различна, но этот аспект исследован недостаточно. Знание спектра питания мидии *Mytilus galloprovincialis* имеет важное значение с точки зрения понимания роста и динамики её поселений как в условиях марихозяйства, так и в природных популяциях.

Целью работы является сравнительный анализ таксономического состава микроводорослей в районе размещения марихозяйства (Севастополь, Чёрное море) и в содержимом желудков культивируемых мидий *M. galloprovincialis*.

### Материал и методы

*Характеристика места отбора проб.* Исследования проведены с февраля по август 2020 г. в районе мидийно-устричной фермы. Ферма расположена на внешнем рейде Севастопольской бухты, в 700 м от берега на глубинах 5–10 м, между бухтами Карантинная и Севастопольская, площадь акватории — 8 га. Севернее Севастопольской бухты в море впадает река Бельбек, непосредственно в бухту — река Чёрная. Скорости течений на ферме составляют от 5 до 20 см/с, что достаточно для хорошего обмена вод. Для этого района характерны скрытые, не выходящие на поверхность сгонные процессы (апвеллинги), которые наблюдаются при устойчивых ветрах восточной и северо-восточной составляющей [Куфтаркова и др., 2006]. Индекс эвтрофикации вод E-TRIX показал широкий диапазон варьирования значений — 1,63–4,33. Воды в районе фермы классифицированы как мезотрофные [Губанов и др., 2004]. Температура воды в районе фермы с февраля по август 2020 г. изменялась от 9,2 до 25,6 °С.

*Методы сбора и обработки проб фитопланктона.* Периодичность отбора проб — каждые 2 месяца. Для изучения видового разнообразия, численности и биомассы микроводорослей фитопланктона пробы воды объёмом 1,5 л отбирали с поверхности моря, сгущали методом обратной фильтрации через ядерные мембраны ( $D_{\text{пор}} = 1$  мкм). Обработку проб проводили методом прямого микроскопирования водорослей в живой и сгущенной капле ( $V = 0,01$  мл), а также в счётной камере ( $V = 0,7$  мл). Пробы обрабатывали в трёх повторностях с использованием светового микроскопа Jenaval Carl Zeiss при увеличении 10 x 25. Идентификацию таксономических групп и видового состава микроводорослей осуществляли по определителям [Киселев, 1950; Прошкина-Лавренко, 1955; Крахмальный, 2011; Прошкина-Лавренко, 1963; Tomas, 1993]. Расчёты численности и биомассы фитопланктона выполнены с помощью компьютерной программы, разработанной в ИнБЮМ [Лях, Брянцева, 2001].

*Методы сбора и обработки проб мидий.* Моллюсков отбирали с коллекторов фермы, с глубины до 6 м, и немедленно доставляли в лабораторию. Для изучения питания моллюсков препарировали желудок, содержимое которого анализировали под микроскопом. Исследования

проведены для двух размерных групп моллюсков — 3–4 см и более 5 см, которых препарировали сразу после отбора проб. Содержимое желудков 5–7 экз. мидий каждой размерной группы объединяли, измеряли объём пробы, в трёх повторностях отбирали аликвоту 0,02 мкл для микроскопирования. Всего было отобрано четыре пробы фитопланктона и препарировано 48 экз. мидий.

*Методы оценки биологического разнообразия.* Видовой состав альгофлоры и содержимого желудков сравнивали с помощью коэффициента Чекановского — Съеренсена по формуле:  $K_s = 2c / (a + b)$ , где  $c$  — число общих видов в двух пробах,  $a$  и  $b$  — число видов в пробах 1 и 2 соответственно [Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003]. Индекс встречаемости видов рассчитывали в процентах от общего числа проб по формуле:  $F = 100 \cdot p / P$ , где  $p$  — число проб, в которых отмечен данный таксон,  $P$  — общее число проб [Девяткин, Митропольская, 2002].

## Результаты

*Состав и количественные характеристики фитопланктона.* Численность клеток фитопланктона в толще воды колебалась в широких пределах, диапазон составил 25–480 тыс. кл.  $\cdot$ л<sup>-1</sup>. Изменчивость обилия различных групп фитопланктона представлена на рисунке 1.

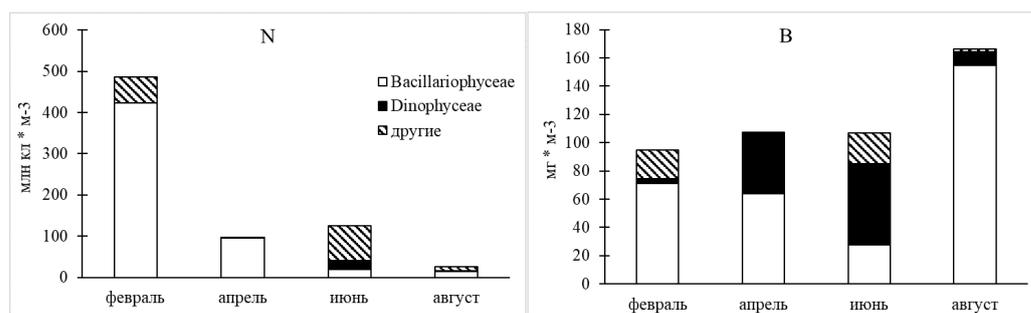


Рис. 1. Численность (N) и биомасса (B) фитопланктона в акватории марихозяйства

Максимальные значения численности отмечены в феврале (рис. 1). В качестве доминирующих видов развивались диатомовые водоросли *Pseudo-nitzschia* spp., *Skeletonema costatum* и кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (табл. 1). В апреле численность фитопланктона снизилась до 100 тыс. кл.  $\cdot$ л<sup>-1</sup>. Продолжали развиваться *Pseudo-nitzschia* spp., к ним присоединились характерные для этого периода года виды рода *Chaetoceros*, из которых доминирующим был *Ch. compressus*. В начале лета значения численности незначительно превышали показатели весеннего периода (124 тыс. кл.  $\cdot$ л<sup>-1</sup>). Вновь доминировала кокколитофориды *E. huxleyi*, ей сопутствовали теплолюбивые динофлагелляты рода *Prorocentrum*, максимума обилия достигала *P. balticum* (табл. 1). В августе, с прогревом водной толщи до 25 °С и выше, показатели обилия планктонных микроводорослей снижались до минимальных значений (26 тыс. кл.  $\cdot$ л<sup>-1</sup>). В планктоне появились *Proboscia alata* и *Pseudosolenia calcar-avis*, длина клеток которых порой превышала 1000 мкм. Также продолжала развиваться *E. huxleyi*. Суммарные значения биомассы фитопланктона варьировали от 95 до 166 мг  $\cdot$ м<sup>-3</sup> с максимальными значениями в августе (рис. 1) на фоне доминирования крупноклеточных форм водорослей.

На основании ранее полученных нами данных [Рябушко и др., 2017], а также данных настоящей работы приведены 10 наиболее часто встречающихся видов микроводорослей в планктоне фермы (рис. 2), 9 из которых — планктонные диатомовые водоросли и 1 вид — кокколитофориды *E. huxleyi*. Индекс встречаемости этих видов составил 0,5–1. Наиболее распространённые виды не всегда являлись более многочисленными (табл. 1, рис. 2).

Фитопланктон в содержимом желудка: сравнение с кормовой базой. В желудках мидий обнаружено 45 видов микроводорослей, из них 27 — диатомовые, 10 — динофлагелляты, 3 — кокколитофорида, 2 — силикафлагелляты, 2 — эбридиевые, 2 — зелёные. Сезонная динамика численности микроводорослей в желудках мидий характеризовалась пиком в феврале, обусловленным диатомовыми водорослями *Pseudo-nitzschia* spp., *S. costatum* и кокколитофоридой *E. huxleyi*. Второй пик (в четыре раза ниже первого) отмечен в июне, основу пищевого комка составляли динофлагелляты *Prorocentrum balticum*, *P. micans* и вновь кокколитофориды *E. huxleyi* (табл. 1).

Таблица 1

Общая численность ( $N_{\text{общ.}}$ ) фитопланктона и доминирующих видов МВ ( $N$ ) в районе морской фермы и в желудках коллекторной мидии *M. galloprovincialis*, (Чёрное море, 2020 г.)

Месяц	Фитопланктон			МВ в желудках мидии			Индекс Чека-новского—Сьёренсена
	$N_{\text{общ.}}$ , тыс.кл.·л <sup>-1</sup>	Доминант	% от $N_{\text{общ.}}$	$N_{\text{жел.}}$ , тыс.кл.экз. <sup>-1</sup>	Доминант	% от $N_{\text{жел.}}$	
февраль	486	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Skeletonema costatum</i> <i>Emiliana huxleyi</i>	62 23 10	93–196*	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Emiliana huxleyi</i> <i>Skeletonema costatum</i>	55–71* 4–18 2–14	72
апрель	96	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Chaetoceros compressus</i>	41 39	0,8–2,7	<i>Prorocentrum micans</i> <i>P. compressum</i> <i>Licmophora gracilis</i>	42–73 4–5 4–5	36
июнь	124	<i>Emiliana huxleyi</i> <i>Prorocentrum balticum</i>	58 13	4,1–9,5	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>P. micans</i> <i>E. huxleyi</i>	44–68 4–19 2–7	42
август	26	<i>Proboscia alata</i> <i>Emiliana huxleyi</i>	44 39	0,07–0,5	<i>P. compressum</i> <i>Phalacroma rotundatum</i> <i>P. micans</i>	30–50 10–27 9–30	38

\* — диапазон значений для размерных групп мидий

Сходство состава микроводорослей в пробах воды и содержимом желудков мидий было максимальным в феврале (72 %), весной и летом не превышало 42 %. Основной вклад в численность микроводорослей в содержимом желудка в период исследования вносили динофлагелляты рода *Prorocentrum*, которые составляли до 85 % от общей плотности клеток в мидии. Исключение составил февраль, когда желудки мидий более чем на 80 % были наполнены диатомовыми водорослями, значительная доля (4–18 %) была сформирована представителем кокколитофорид *E. huxleyi* (табл. 1).

При сравнении содержимого желудков мидий двух размерных групп в исследуемый период в целом наблюдался схожий видовой состав микроводорослей — индекс сходства варьировал от 65 до 92 % (табл. 2).

Некоторые несоответствия в содержимом желудков могут быть связаны с низкой встречаемостью отдельных видов микроводорослей. Размер клеток фитопланктона в рационе мидий составлял от 5 до 600 мкм. Динофлагеллята *P. micans* была наиболее распространённым видом в желудках мидий обеих размерных групп. Наряду с планктонными видами отмечено значительное количество бентосных диатомовых водорослей, которые в период исследований не были встречены в планктоне.

Для 10 наиболее распространённых видов микроводорослей, обнаруженных в акватории марикультуры и в желудках мидий, рассчитан индекс встречаемости (рис. 2). Показано, что состав видов в фитопланктоне и в желудках мидий различен — обнаружено пять общих видов, относящихся к диатомовым водорослям. В пищевом комке мидий наиболее распространёнными были диатомовые — 6 видов, 4 вида — динофитовые водоросли.

Таблица 2

## Микроводоросли, обнаруженные в желудках мидий двух размерных групп

Размерная группа	Февраль 2020		Апрель 2020		Июнь 2020		Август 2020	
	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>								
<b>Планктонные</b>								
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostenfeld, 1902	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve, 1889	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder, 1864	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell, 1856	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus janischii</i> A.Schmidt, 1878	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad, 1990	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle, 1996	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mer.	+	+	-	+	+	+	-	-
<i>Pseudo-nitzschia caliantha</i> Lundholm, Moestrup & Hasle, 2003	+	+	+	-	+	+	-	-
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) B.G.Sundström, 1986	-	+	+	+	+	+	+	-
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström, 1986	+	+	-	-	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1873	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky, 1902	+	+	+	+	+	+	-	+
<b>Бентосные</b>								
<i>Achnanthes longipes</i> C.Agardh, 1824	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Synedra crystallina</i> (C.Agardh) Kützing, 1844	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg, 1838	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Haslea ostrearia</i> (Gaillon) Simonsen, 1974	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Licmophora flabellata</i> (Grev.) C.Agardh, 1831	-	-	+	+	-	+	-	-
<i>Licmophora gracilis</i> (Ehrenberg) Grunow, 1867	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Licmophora ehrenbergii</i> (Kützing) Grunow, 1867	-	-	+	-	+	+	-	-
<i>Melosira nummuloides</i> C.Agardh, 1824	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Smith, 1852	-	+	-	-	-	+	+	-
<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngbye) C.Agardh, 1832	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Striatella interrupta</i> (Ehrenberg) Heiberg, 1863	-	-	-	-	-	+	-	-

Продолжение на следующей странице...

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM., КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В ПРИБРЕЖЬЕ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Размерная группа	Февраль 2020		Апрель 2020		Июнь 2020		Август 2020	
	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см	3-4 см	≥ 5 см
<i>Tabularia tabulata</i> (C.Agardh) Snoeijs, 1992	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894	-	-	+	-	-	-	-	-
DINOPHYCEAE								
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann, 1859	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent, 1881	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>Gymnodinium wulfii</i> J.Schiller, 1933	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehrenberg) F.Stein, 1883	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener, 1911	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III, 1970	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge, 1975	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) J.D.Dodge, 1975	+	+	+	-	+	+	-	+
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg, 1834	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (F.Stein) A.R.Loeblich III, 1976	+	-	-	-	-	+	-	-
ДРУГИЕ								
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler, 1967	+	+	-	-	+	+	-	-
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (G.Murray & V.H.Blackman) Loeblich Jr. & Tappan, 1978	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Oolithotus fragilis</i> (Lohmann) Martini & C.Müller, 1972	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Octactis speculum</i> (Ehrenberg) F.H.Chang, J.M.Grieve & J.E.Sutherland, 2017	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse, 1946	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ebria tripartita</i> (J.Schumann) Lemmermann, 1899	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Hermesinum adriaticum</i> Zacharias, 1906	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Pterosperma cristatum</i> Schiller, 1925	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetraselmis</i> sp. F.Stein, 1878	-	-	-	-	+	+	-	-
Индекс Чекановского — Сьёренсена	92		65		90		67	

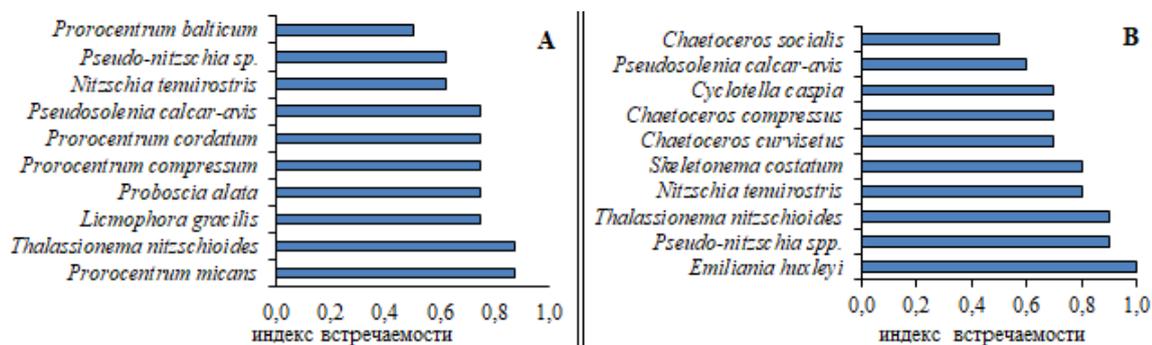


Рис. 2. Индекс встречаемости различных видов микроводорослей в желудках мидий (А) и фитопланктоне фермы (В)

### Обсуждение

Видовой состав микроводорослей в содержимом желудков мидий отличался от такового в воде. Отмечено увеличение числа видов и плотности клеток бентосных диатомовых водорослей в желудках по сравнению с их составом и численностью в воде. Известно, что мидии могут собирать микроводоросли с собственной раковины и с раковин других мидий с помощью ноги [Цихон-Луканина, 1987]. Динофлагелляты, которые являлись второстепенным компонентом фитопланктона в воде, достигали в среднем 25–30 % от численности микроводорослей в желудках мидий. Увеличение количества динофлагеллят в содержимом желудков, по сравнению с фитопланктоном, характерно для различных видов двустворчатых моллюсков [Рябушко и др., 2017; Сеничева, 1990; Rouillon et al., 2005; Xu, Yang, 2007]. Другие исследования рациона *M. galloprovincialis* показали, что в желудках количество диатомовых водорослей и динофлагеллят было ниже, чем других групп фитопланктона [Prato et al., 2010]. По-видимому, это связано с избирательностью питания моллюсков. Результаты данной работы, как и наших более ранних исследований [Поспелова, Трощенко, Субботин, 2018; Рябушко и др., 2017], показали, что динофлагелляты в желудках мидий в основном представлены клетками водорослей рода *Prorocentrum*, даже когда в морской воде эти виды были представлены единично. Эту избирательность можно объяснить способностью к накоплению динофлагеллят, проявляемой двустворчатыми моллюсками [Rouillon et al., 2005]. Некоторые авторы предполагают, что это может быть связано с кратковременным развитием динофлагеллят, не совпадающим с отбором проб морской воды [Shumway et al., 1985; Sidari et al., 1998]. Возможно также, что эти виды более устойчивы к внеклеточному пищеварению и дольше остаются в кишечнике [Rouillon et al., 2005].

Важность фитопланктона в спектре питания двустворчатых моллюсков очевидна. Известно, что двустворчатые моллюски имеют более высокие темпы роста и быстрое развитие гонад при питании микроводорослями по сравнению с особями, которые питаются детритом [Иванов и др., 1989; Arapov et al., 2010]. Важным источником пищи мидий являются и бентосные диатомовые [Рябушко и др., 2017; Цихон-Луканина, 1987; Morioka et al., 2017].

Несмотря на то что для роста мидий решающее значение имеет численность планктона, состав планктона также важен. Например, микроводоросли, продуцирующие токсины, могут влиять на качество продукции моллюсков и это требует раннего обнаружения. В настоящей работе обнаружены два вида динофлагеллят, продуцирующие токсины, — *Dinophysis acuminata* и *D. caudata* [Vershinin, Orlova, 2008], однако как в планктоне, так и в желудках мидий клетки этих водорослей представлены единично. Доказана токсичность диатомовой водоросли *Pseudo-nitzschia caliantha* из Чёрного моря [Besiktepe et al., 2008]. Этот вид обнаружен нами в желудках мидий в период исследования (кроме августа), а также часто встречался в планктоне. Есть данные, что динофитовая

*Ph. rotundatum*, обнаруженная нами в августе как в желудках, так и в планктоне, также может содержать фитотоксины [*Phalacroma rotundatum*..., 2009]. Однако некоторые исследователи предполагают, что этот вид не продуцирует токсины de novo, а содержание токсинов в клетках может быть следствием питания инфузориями, которые ранее охотились на токсичных *Dinophysis* spp. [González-Gil et al., 2011]. Данные о токсичности еще одного вида динофитовых — *P. cordatum* (синоним *P. minimum*) в морских пелагических пищевых сетях противоречивы. Этот вид — распространённый компонент содержимого желудков мидий и планктона в нашей работе. Одни авторы указывают на наличие токсинов у данного вида [Grzebyk et al., 1997; Heil, Glibert, Fan, 2005; Vlamiš et al., 2015]. Другие попытки обнаружить токсичное воздействие *P. cordatum* не увенчались успехом [Kat, 1985]. Некоторые исследователи предполагают, что токсичность этой динофлагелляты зависит от условий окружающей среды [Wikfors, 2005].

Существование избирательности в питании моллюсков-фильтраторов описано в многочисленных исследованиях, однако причина такой избирательности не ясна. Некоторые авторы предполагают, что отбор обусловлен размером частиц или питательной ценностью клеток [Иванов и др., 1989; Сеничева, 2007; Arapov et al., 2010]. Другие исследователи [Shumway et al., 1985] показали, что разные виды двустворок используют разные механизмы отбора частиц: одни моллюски отправляют в псевдофекалии динофлагелляты, другие — диатомовые водоросли и т. д. Тропический двустворчатый моллюск *Lithopaga simplex* отбирает частицы не только по размеру, но и на основе формы клеток и более высокого содержания пигментов [Yahel et al., 2009]. Таким образом, множество исследований подтверждают тот факт, что двустворчатые моллюски способны выбирать пищу, однако факторы, определяющие отбор, неизвестны и требуют дальнейшего изучения.

## Выводы

Двустворчатые моллюски могут использовать для питания широкий спектр микроводорослей, что делает их важной частью морских пищевых цепей. Подтверждена избирательность при питании культивируемых мидий микроводорослями, однако механизмы этого процесса требуют дальнейших исследований. Поскольку рост и размножение двустворчатых моллюсков зависит от качества их рациона, для повышения эффективности морского фермерства необходимо учитывать условия, при которых культивируемые моллюски имеют доступную пищу для максимального генеративного и соматического роста.

## Список литературы

1. Губанов В. И., Мальченко Ю. А., Куфтаркова Е. А., Ковригина Н. П. Диагноз современного состояния вод Севастопольского взморья (Чёрное море) по результатам мониторинга гидрохимических характеристик // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2004. – № 10. – С. 141–148.
2. Девяткин В. Г., Митропольская И. В. Встречаемость видов водорослей как показатель биологического разнообразия альгоценозов // Динамика разнообразия гидробионтов во внутренних водоемах России / Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина ; под ред. В. Г. Папченкова. – Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2002. – С. 5–22.
3. Иванов В. Н., Холодов В. И., Сеничева М. И., Пиркова А. В., Булатов К. В. Биология культивируемых мидий / АН СССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Киев : Наукова думка, 1989. – 100 с.
4. Киселев И. А. Определитель по фауне СССР. Панцирные жгутиконосцы (Dinoflagellata) морей и пресных вод СССР. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1950. – 280 с. – (Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук СССР ; 33).

5. Крахмальний А. Ф. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель). – Киев : Альтерпрес, 2011. – 444 с.
6. Куфтаркова Е. А., Губанов В. И., Ковригина Н. П., Еремин И. Ю., Сеничева М. И. Экологическая оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря // Морской экологический журнал. – 2006. – Т. 5, № 1. – С. 72–91.
7. Лях А. М., Брянцева Ю. В. Компьютерная программа для расчёта основных параметров фитопланктона // Экология моря. – 2001. – Вып. 58. – С. 87–90.
8. Поспелова Н. В., Троценко О. А., Субботин А. А. Изменчивость кормовой базы двустворчатых моллюсков в двухлетнем цикле выращивания на мидийно-устричной ферме (Чёрное море, Голубой залив) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Сер.: Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 4. – С. 148–164.
9. Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли планктона Чёрного моря. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1955. – 224 с.
10. Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли планктона Чёрного моря. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1963. – 244 с.
11. Рябушко Л. И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 288 с.
12. Рябушко Л. И., Поспелова Н. В., Бальчева Д. С., Ковригина Н. П., Троценко О. А., Капранов С. В. Исследования микрофитобентоса эпизоона *Mytilus galloprovincialis* Lam., фитопланктона и гидролого-гидрохимических характеристик акватории мидийной фермы (Севастополь, Чёрное море) // Морской биологический журнал. – 2017. – Т. 2, № 4. – С. 67–83. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.4.07>
13. Сеничева М. И. Характеристика фитопланктона как объекта питания *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе марихозьяства бухты Ласпи // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 7–15.
14. Сеничева М. И. Кормовая база мидий, динамика фитопланктона в районах размещения ферм // Марикультура мидий на Чёрном море / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; [ред. В. Н. Иванов]. – Севастополь : ЭКОСИ Гидрофизика, 2007. – С. 94–107.
15. Цихон-Луканина Е. А. Трофология водных моллюсков. – Москва : Наука, 1987. – 175 с.
16. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
17. Arapov J., Ezgeta-Balic D., Peharda M., Glandanl Z. N. Bivalve feeding — how and what they eat? // Ribarstvo. – 2010. – Vol. 68, iss. 3. – P. 105–116.
18. Besiktepe S., Ryabushko L., Ediger D., Yimaz D., Zenginer A., Ryabushko V., Lee R. Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle (Bacillariophyta) isolated from the Black Sea // Harmful Algae. – 2008. – Vol. 7, iss. 4. – P. 438–442. – <https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.09.004>
19. González-Gil S., Pizarro G., Paz B., Velo-Suarez L., Reguera B. Considerations on the toxigenic nature and prey sources of *Phalacrocoma rotundatum* // Aquatic Microbial Ecology. – 2011. – Vol. 64, no. 2. – P. 197–203. – <https://doi.org/10.3354/ame01523>
20. Grzebyk D., Denardou A., Berland B., Pouchus Y.F. Evidence of a new toxin in the redtide dinoflagellate *Prorocentrum minimum* // Journal of Plankton Research. – 1997. – Vol. 19, iss. 8. – P. 1111–1124. – <https://doi.org/10.1093/plankt/19.8.1111>
21. Heil C. A., Glibert P. M., Fan C. *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller. A review of a harmful algal bloom species of growing worldwide importance // Harmful Algae. – 2005. – Vol. 4, iss. 3. – P. 449–470. – <https://doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.003>
22. Kat M. *Dinophysis acuminata* blooms, the distinct cause of Dutch mussel poisoning // Toxic dinoflagellates : Proceedings of the Third International Conference on Toxic Dinoflagellates, St. Andrews, New Brunswick, Canada, June 8-12, 1985 / Eds: D. M. Anderson, A. W. White, D. G. Baden. – New York, NY, USA : Elsevier, 1985. – P. 73–78.
23. Morioka H., Kasai A., Miyake Y., Kitagawa T., Kimura S. Food composition for Blue mussels (*Mytilus edulis*) in the Menai Strait, UK, based on physical and biochemical analyses // Journal of Shellfish Research. – 2017. – Vol. 36, iss. 3. – P. 659–668. – <https://doi.org/10.2983/035.036.0315>

24. *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener, 1911 // IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae / Eds: Ø. Moestrup, R. Akselmann-Cardella, C. Churro, S. Fraga, M. Hoppenrath, M. Iwataki, J. Larsen, N. Lundholm, A. Zingone (2009 onwards). – URL: <http://www.marinespecies.org/hab/aphia.php?p=taxdetails&id=156505> [accessed on: 16.03.2021].
25. Prato E., Danieli A., Maffia M., Biandolino F. Lipid and fatty acid compositions of *Mytilus galloprovincialis* cultured in the Mar Grande of Taranto (Southern Italy): feeding strategies and trophic relationships // Zoological Studies. – 2010. – Vol. 49, no. 2. – P. 211–219.
26. Rouillon G., Guerra Rivas J., Ochoa N., Navarro E. Phytoplankton composition of the stomach contents of the mussel *Mytilus edulis* L. from two populations: comparison with its food supply // Journal of Shellfish Research. – 2005. – Vol. 24, no. 1. – P. 5–14. – [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2005\)24\[5:PCOTSC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2005)24[5:PCOTSC]2.0.CO;2)
27. Shumway S., Cucci T., Newell R., Yentsch C. Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 1985. – Vol. 91, iss. 1/2. – P. 77–92. – [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(85\)90222-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(85)90222-9)
28. Sidari I., Nichetto P., Cok S., Sosa S., Tubaro A., Honsell G., Della Loggia R. Phytoplankton selection by mussel, and diarrhetic shellfish poisoning // Marine Biology. – 1998. – Vol. 131. – P. 103–111. – <https://doi.org/10.1007/s002270050301>
29. Strohmeier T., Duinker A., Strand O., Aure J. Temporal and spatial variation in food availability and meat ratio in a longline mussel farm (*Mytilus edulis*) // Aquaculture. – 2008. – Vol. 276, iss. 1/4. – P. 83–90. – <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.043>
30. Tomas C. R. Marine Phytoplankton. A Guide to naked flagellates and Coccolithophorids / Ed. C. R. Tomas. – San Diego : Academic Press Inc., 1993. – 263 p.
31. Vershinin A. O., Orlova T. Y. Toxic and harmful algae in the coastal waters of Russia // Oceanology. – 2008. – Vol. 48, iss. 4. – P. 524–537. – <https://doi.org/10.1134/S0001437008040085>
32. Vlamis A., Katikou P., Rodriguez I., Rey V., Alfonso A., Papazachariou A., Zacharaki T., Botana A. M., Botana L. M. First detection of tetrodotoxin in Greek shellfish by UPLC-MS/MS potentially linked to the presence of the dinoflagellate *Prorocentrum minimum* // Toxins. – 2015. – Vol. 7, iss. 5. – P. 1779–1807. – <https://doi.org/10.3390/toxins7051779>
33. Wikfors G. H. A review and new analysis of trophic interactions between *Prorocentrum minimum* and clams, scallops, and oysters // Harmful Algae. – 2005. – Vol. 4, iss. 3. – P. 585–592. – <https://doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.008>
34. Xu Q., Yang H. Food sources of three bivalves living in two habitats of Jiaozhou Bay (Qingdao, China): Indicated by lipid biomarkers and stable isotope analysis // Journal of Shellfish Research. – 2007. – Vol. 26, no. 2. – P. 1–7. – [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[561:FSOTBL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[561:FSOTBL]2.0.CO;2)
35. Yahel G., Marie D., Beninger P. G., Eckstein S., Genin A. In situ evidence for precapture qualitative selection in the tropical bivalve *Lithophaga simplex* // Aquatic Biology. – 2009. – Vol. 6. – P. 235–246. – <https://doi.org/10.3354/ab00131>

## THE FEEDING OF *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. CULTIVATING IN COASTAL WATERS OF SEVASTOPOL

Pospelova N. V., Priimak A. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [nvpospelova@mail.ru](mailto:nvpospelova@mail.ru)

Mariculture is an intensely-developing field of agriculture. Its stability depends on availability of feed for mollusks. Availability of feed is the one of the main factors limiting growth and reproduction of bivalve. Microalgae are the most valuable part of suspended matter suitable for feeding of filter-feeding mollusks. Relationship between mussel's populations (natural and artificial) and phytoplankton (as a source of feed) is generally known. It's established that growth rates and gonads development are better with microalgae feeding of mussels in comparison with detritus feeding. The aim of this work is to compare the phytoplankton composition in the water

of mariculture farm and in the stomach of *Mytilus galloprovincialis* cultivating at this farm. Investigation was carried out from February till August 2020 in the mussel farm at the external roadstead of Sevastopol. Qualitative and quantitative characteristics of farm-water phytoplankton are typical for coastal waters of Crimea. The similarity of microalgae composition in water samples and mussel's stomach reached its maximum (72%) in February but was not more than 42% during spring and autumn. 27 diatoms and 11 dinoflagellate species prevailed in the stomach content of mussels. The most abundant species in stomach was dinoflagellate *Prorocentrum micans*. Also, a great number of benthic diatoms were recorded, which weren't identified in plankton. The selectivity of microalgae mussel's feeding is confirmed. Toxin-producing microalgae were rarely identified in mussel's stomach and water samples. Growth and reproduction of bivalves depends on feed quality. That is why it is necessary to consider the conditions under which the feed for good growth is available for mollusks.

**Keywords:** mariculture; phytoplankton; *Mytilus galloprovincialis*; feeding; stomach content.

#### Сведения об авторах

Поспелова  
Наталья  
Валериевна кандидат биологических наук, учёный секретарь ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», nvpospelova@mail.ru

Приймак  
Анастасия  
Сергеевна аспирант ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», 123klimova321@gmail.com

Поступила в редакцию 09.09.2020 г.  
Принята к публикации 25.02.2021 г.