

Департамент образования и науки города Севастополя  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
«Центр дополнительного образования  
«Малая академия наук»

## **Роль микроводорослей рода *Prorocentrum* в питании черноморских мидий**

**Работу выполнила:**

Медведева Виктория Игоревна, учащаяся  
творческого объединения «Биология  
человека» ГБОУ «ЦДО «Малая академия  
наук»,  
ГБОУ г. Севастополя Гимназия № 1 им. А.С.  
Пушкина, 11 класс

**Научный руководитель:**

Поспелова Наталья Валериевна, педагог ДО  
творческого объединения «Биология  
человека» ГБОУ ЦДО «Малая академия  
наук», к.б.н., с.н.с., ученый секретарь ФИЦ  
ИнБЮМ

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАЗДЕЛ 1 МИКРОВОДОРОСЛИ – ОСНОВА КОРМОВОЙ БАЗЫ МОЛЛЮСКОВ-ФИЛЬТРАТОРОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	5
РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
2.1 Характеристика объектов исследований.....	9
2.2 Материал и методы исследований.....	11
2.3 Статистическая обработка данных.....	12
РАЗДЕЛ 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	13
3.1 Видовой состав динофитовых водорослей рода <i>Prorocentrum</i> в планктоне, желудках мидий, биоотложениях.....	13
3.2 Наполняемость желудков мидий динофитовыми водорослями рода <i>Prorocentrum</i> .....	14
3.3. Усвояемость и избирательность водорослей рода <i>Prorocentrum</i> черноморскими мидиями.....	16
ВЫВОДЫ.....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	21

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Одним из факторов, влияющих на рост двустворчатых моллюсков как в естественных популяциях, так и в условиях аквакультуры, является наличие и качество пищи. Фитопланктон традиционно считается основным источником пищи двустворчатых моллюсков [6]. Однако ряд исследований показал, что энергия для жизнедеятельности моллюсков также поступает из других источников пищи, таких как бактерии, детрит и даже зоопланктон [13; 19]. Из-за высокой численности во многих морских экосистемах и роли в потоке питательных веществ двустворчатые моллюски представляют собой важное трофическое звено в морских пищевых цепях. Благодаря процессу питания фильтра двустворчатые моллюски играют важную роль в морских экосистемах, контролируя численность первичных продуцентов, зоопланктон и личиночные стадии других морских видов, включая двустворчатых моллюсков. Благодаря этому процессу двустворчатые моллюски имеют большое влияние на поток энергии и питательных веществ между бентосными и пелагическими сообществами [6].

Поскольку рост двустворчатых моллюсков зависит от качества их рациона, с точки зрения аквакультуры важно знать, при каких условиях двустворчатые моллюски имеют оптимальную доступную энергию для максимального роста. Кроме того, знание процессов питания двустворчатых моллюсков важно для планирования аквакультуры. Это важно для районов, где производство аквакультуры зависит только от личинок, собранных в природной среде.

Последние исследования показали, что в содержимом желудков мидий, выращиваемых в прибрежье г. Севастополя и Крыма, практически круглогодично преобладали динофитовые водоросли, из которых наибольшей численности достигали водоросли рода *Prorocentrum* [2]. Также показано, что клетки этих же водорослей в большом количестве встречались в биоотложениях мидий, при этом многие клетки проходили через кишечник моллюсков неповрежденными (живыми). Поэтому на данном этапе роль этих микроводорослей в питании мидий практически не изучена. Присутствие клеток в желудках не всегда доказывает пищевую ценность этих объектов. К тому же отдельные виды являются потенциально опасными. Так *Prorocentrum lima* – продуцент домоиковой кислоты и сигуатоксина, которые вызывают у человека диарретическое моллюсковое и сигуатерное рыбное отравления.

Проект посвящен актуальной задаче исследования – исследованию состава пищи, а также избирательности питания у культивируемых моллюсков-фильтраторов.

**Связь работы с научными программами.** Научная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы отдела аквакультуры и морской

фармакологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

**Цель исследования:**

- оценить роль динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в питании черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* при выращивании в условиях морской фермы.

На основании цели были поставлены следующие **задачи:**

- определить видовой состав динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в желудках мидий в весенне-летний период;

- оценить наполненность желудков мидий динофитовыми водорослями рода *Prorocentrum*;

- проанализировать усвояемость водорослей рода *Prorocentrum* черноморскими мидиями.

*Объект исследования* – питание мидий

*Материал исследования* – морская вода, содержимое желудков мидий, биоотложения мидий.

*Методы исследования* – гидробиологические, таксономические, статистические.

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые проведена оценка потребления и усвояемости наиболее встречаемых в спектре питания мидий динофитовых водорослей.

**Теоретическое и практическое значение полученных результатов.** Полученные результаты имеют теоретическое значение, так как позволяют полнее оценить спектр питания культивируемых двустворчатых моллюсков-фильтраторов. Результаты представляют практический интерес, поскольку могут быть использованы при оценке пригодности акватории для размещения морских ферм.

**Личный вклад учащегося.** Медведева В. самостоятельно определяла численность видов рода *Prorocentrum* в пробах желудков мидий. Учащаяся проанализировала научную литературу в данной области исследований, принимала участие в процессе обработки полученных результатов согласно рекомендациям научного руководителя Поспеловой Н.В.

## РАЗДЕЛ 1 МИКРОВОДОРОСЛИ – ОСНОВА КОРМОВОЙ БАЗЫ МОЛЛЮСКОВ-ФИЛЬТРАТОРОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Особенности питания двустворчатых моллюсков издавна привлекали внимание ученых, причем изучался главным образом качественный состав пищи. Биотехнологии, применяемые при культивировании животных-фильтраторов, основаны на обеспечении их пищевых потребностей за счет ресурсов акватории. Фильтраторы являются одним из основных объектов марикультуры во многих странах. По данным FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) в мире последние десятилетия аквакультура вообще, и марикультура двустворчатых моллюсков в частности, развивается бурными темпами. Фильтраторы являются важным функциональным элементом в водных экосистемах. Двустворчатые моллюски, питающиеся взвесью, могут достигать чрезвычайно высокой биомассы и, в благоприятных условиях, часто доминируют в сообществах мелководного прибрежного моря (Kotta & Witman 2009).

Взаимодействие популяций мидий с фитопланктоном как источником пищи давно задокументировано. Blanton et al. (1987), van der Veer (1989) и Nickman et al. (1991) сообщили, что цветение фитопланктона сопровождалось усилением роста и продуктивности, а также улучшением показателей состояния различных видов мидий на площадках для выращивания. Все эти наблюдения подтверждают идею о том, что мидии обычно полагаются на фитопланктон как на основной источник пищи. Однако различные виды фитопланктона, по-видимому, по-разному влияют на его пищевую ценность для двустворчатых моллюсков в условиях культивирования. Способность некоторых двустворчатых моллюсков (включая мидий) к преимущественному использованию видов фитопланктона следует рассматривать как полезный механизм, обеспечивающий полноценное использование этого ресурса в условиях изменчивости морской прибрежной среды обитания.

При рассмотрении этого явления дифференцированного использования полезным подходом в полевых условиях было бы сравнение содержимого кишечника и толщины воды или поверхностных отложений с точки зрения видового состава фитопланктона. Используя эти процедуры, Камерманс (1994) сообщил, что видовой состав содержимого кишечника различных эпифаунальных и инфаунальных двустворчатых моллюсков, обитающих в илистых отмелях, больше походил на состав водной толщи, чем на состав поверхностных отложений, но на ее основании нельзя сделать вывод о селективном питании. Данные Shumway et al. (1987) и Muñetón-Gómez et al. (2001) также сообщили об аналогичных моделях сезонных колебаний видового состава в морской воде и желудках *Placopecten magellanicus* Gmelin, 1791 и *Spondylus leucacanthus* Broderip 1833 соответственно. Однако Ciocco и Gayoso (2002) наблюдали, что состав содержимого желудка ребристых мидий не отражает цветение диатомовых водорослей, зарегистрированное в районе исследования.

Моллюски очень широко распространены в гидросфере, адаптируясь к условиям разных биотопов и используя почти все пищевые ресурсы последней. По числу видов доминируют *Gastropoda* (брюхоногие) и *Bivalvia* (двустворчатые), на долю которых приходится 95% видов малакофауны гидросферы и 70% - промысловых и видов, выращиваемых в аквакультуре [21].

Трофические отношения являются основой функционирования экосистем, так как обеспечивают передачу энергии и питательных веществ от продуцентов до консументов последних порядков. Оптимальное количество пищи, обеспеченной необходимым спектром макро- и микроэлементов, способствует укреплению трофических связей и общей устойчивости экосистемы к воздействию внешних неблагоприятных факторов. Кроме того, качество пищи является важным фактором в случае с формированием искусственных сред для выращивания гидробионтов в промышленных масштабах, так как напрямую влияет на товарную ценность и конкурентоспособность конечного продукта.

Двустворчатые путём фильтрации хорошо усваивают мелкие частицы, что является адаптацией к потреблению их основных источников пищи – донных осадков и сестона [5]. Фитопланктон образует небольшую часть мелких твердых частиц органической фракции последнего [14], оставаясь при этом высоко значимой составляющей рациона двустворчатых.

Так, взаимодействие между мидийными сообществами (фермами) и фитопланктоном является ключевым процессом в обмене материалом между бентосными и пелагическими подсистемами. Мидийные сообщества усиливают оборот материала путем поедания фитопланктона, таким образом ускоряя экологический цикл вещества в мелководных экосистемах [6]. Питанию таких двустворчатых моллюсков, как *Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*, являющихся основными объектами марикультуры среди двустворчатых, в настоящее время посвящено огромное число работ, которые отводят фитопланктону в целом и диатомовым водорослям – в частности ключевую роль в питании и развитии двустворчатых [5, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. По данным [5] протисты у двустворчатых моллюсков усваиваются лучше, чем детрит – 76% и 58% соответственно. Тот же автор определил, что диатомеи являются основным источником пищи устриц, обеспечивая их нормальный рост и размножение. У *Mytilus edulis*, *Crassostrea virginica* и *Mercenaria mercenaria*, диатомеи усваиваются на 73-84%, что превышает усвояемость детрита на 15-26% [25]. Shumway et al. (1987) проанализировали содержимое желудков гребешка *Placopecten magellanicus* и обнаружили 27 видов фитопланктона, преимущественно диатомовых. При сравнении характера годового роста *Macoma balthica* с моделями обилия фитопланктона в течение 15 лет, было выяснено, что сообщества из *M. balthica* характеризовались более быстрым ростом и лучшим состоянием в годы высокого обилия фитопланктона, что подтверждает необходимость наличия диатомовых в рационе двустворчатых [8]. Однако пищевая ценность

разных видов диатомовых неодинакова. Так, *Skeletonema costatum* характеризуется высокими значениями данного показателя [17], в то время как *Phaeodactylum tricornutum*, так же относящаяся к диатомовым, трудно переваривается многими двустворчатыми [12].

По данным [23; 26], если устрицы питаются только детритом, они не становятся половозрелыми. У мидии *Mytilus edulis* отмечается слабый рост при кормлении не фитопланктоном в условиях лабораторного эксперимента [27, 28]. Также отрицательный эффект на механизмы фильтрации и роста двустворчатых оказывают токсичные микроводоросли, в особенности, когда мидии питаются ими впервые [21, 24].

Langdon and Newell (1990) показали, что использование бактерий как основной пищи может привести к недостатку азота у устрицы *Crassostrea virginica* и углерода и азота - у мидии *Geukensia demissa* - не удовлетворяет потребности этих двустворчатых в углероде и азоте. В связи с этим возникает необходимость в кормлении двустворчатых другой пищей в виде фитопланктона, нанозоопланктона или нецеллюлозных твердых частиц и растворенного органического вещества.

Эксперименты Deslous-Paoli et al. (1990) и Navarro et al. (1991) показали повышение эффективности абсорбции двустворчатых с увеличением доли органической фракции пищи. Те же авторы определили наличие сильной связи между ассимилированной/усвоенной энергией и производительностью популяций мидий, учитывая качество пищи, выраженное в процентах водорослевого пигмента от общего количества сестона. Эти результаты подчеркнули значимость развития фитопланктона как пищи наилучшего качества для воспроизводства мидийных сообществ, как Incze et al. (1980) отметили это для *Mytilus edulis* и Deslous-Paoli et al. (1982) – для *Crassostrea gigas*. Даже если органическое вещество детрита будет изобиловать в эстуарной экосистеме в течение года, это будет не так важно для роста двустворчатых, как весеннее и осеннее «цветение» фитопланктона. Это согласуется с результатами работы [6], которая говорит о снижающейся роли взмученного бентосного вещества при росте доли фитопланктона в рационе фильтраторов: анализ содержимого желудков мидии *M. galloprovincialis*, собранных во время «цветения» воды, вызванной динофлагеллятами, показал ожидаемое доминирование последних. Исключением являются токсичные виды микроводорослей, которые в период массового размножения оказывают негативное воздействие на ряд видов двустворчатых: мидию съедобную *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758, мидию средиземноморскую *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, мидию песчаную *Mya arenaria*, Linnaeus, 1758, устрицу *Ostrea angasi* Sowerby, 1871 и др. Необходимость наличия фитопланктона в рационе фильтраторов была показана путем сравнения скоростей роста двустворчатых и концентрации хлорофилла а. Page and Hubbard (1987) и Jasprica et al. (1997) показали, что скорость роста моллюсков была выше в периоды с максимумом концентрации хлорофилла а, т.е. в периоды формирования плотной популяции фитопланктона.

Исследование [29] подтвердило, что фитопланктон является важнейшей составляющей рациона устрицы *Crassostrea gigas* и мидии *Mytilus galloprovincialis*, обитающей в приливной зоне, и гребешка *Chlamys farreri*, культивируемого в доприливной (subtidal) зоне. Основными источниками пищи культивируемого гребешка *C. farreri* были диатомовые, в то время как в рационе устрицы *C. gigas* и мидии *M. galloprovincialis* преобладали динофлагелляты.

Растительная пища пищеварительного тракта мидий Черного моря состояла из перидиней и диатомей с преобладанием в пищевом спектре перидиней *Prorocentrum micans*, число клеток которой составило 65,9 %, а по массе – несколько ниже (37,5 %) [М.М. Данилова, 2005]. Последние исследования показали, что в содержимом желудков мидий, выращиваемых в прибрежье г. Севастополя и Крыма, практически круглогодично преобладали динофитовые водоросли, из которых наибольшей численности достигали водоросли рода *Prorocentrum* [2].

Таким образом, исследование спектра питания, избирательности и усвояемости микроводорослей черноморскими мидиями исследовано недостаточно. Особенно важно учитывать наиболее встречаемые в пищевом комке виды водорослей. На основании литературных данных и собственных наблюдений было показано, что к таковым относятся динофитовые рода *Prorocentrum*.

## РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Характеристика объектов исследований

Исследования проводили на видах динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в районе взморья г. Севастополя (рис 2.1). Здесь располагается мидийно-устричная ферма и моллюски размещены на коллекторах в толще воды.

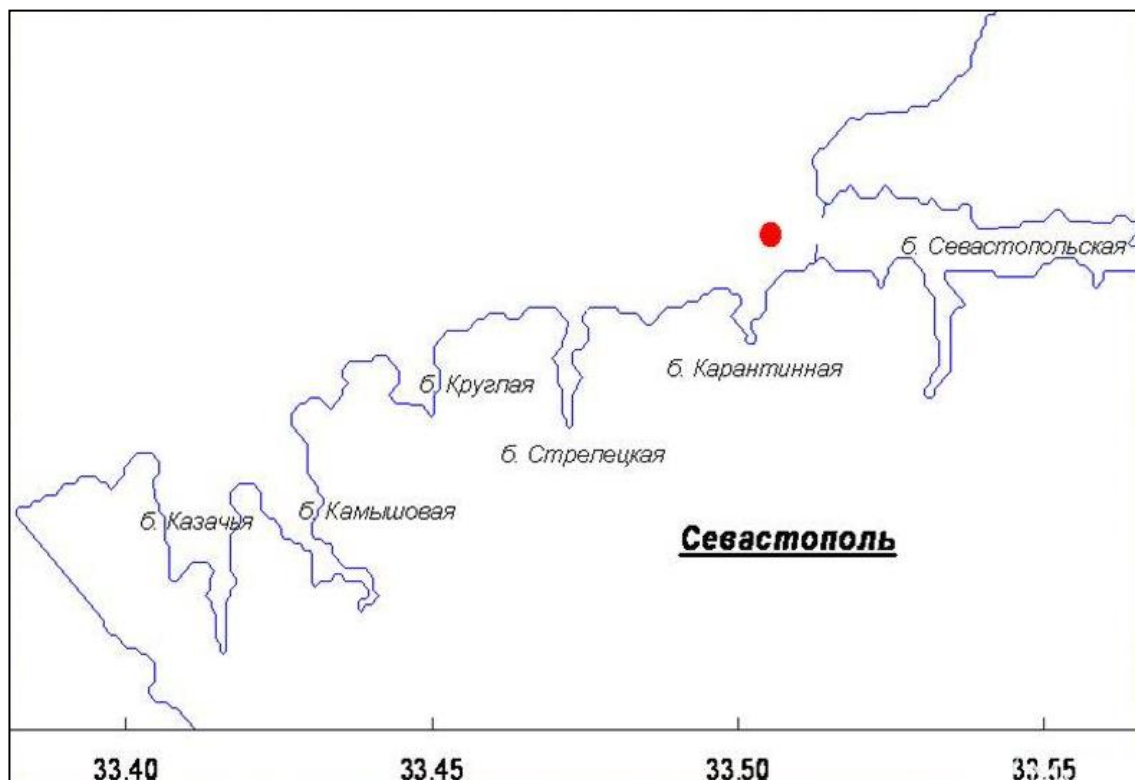


Рисунок 2.1 Район отбора проб

Биологическая характеристика исследуемых видов приведена ниже.

#### *Prorocentrum balticum*.

Клетки очень маленькие, слегка асимметричные, со створки сердцевидные или яйцевидные, с боков более или менее сжатые или почти округлые. В апикальной зоне возле жгутиковых пор нередко наблюдается два очень маленьких выроста в виде коротких зубчиков. Тека покрыта мельчайшими шипиками, которые видимы в СМ в виде пор или пороидов. Два жгутика, несколько различающихся по длине, выходят из жгутиковых пор на переднем конце. Хлоропластов один или несколько золотисто-желтого цвета. Размер: 9-17 мкм в диаметре.

#### *Prorocentrum compressum*.

Клетки средних размеров, слабо сжатые с боков, со створки от яйцевидных до округлых или широкоэллипсоидных. Передний конец обычно с очень небольшим углублением, по обеим сторонам которого каждая

створка возле жгутиковой поры несет по одному маленькому зубцу, нередко разному по величине. Поверхность створок с многочисленными пороидами, поры трихоцистов очень мелкие. Два крупных, пластичных, желтых хлоропласта. Размер: 30-46 мкм длина, 24-38 мкм ширина, 25-41 мкм толщина.

*Prorocentrum micans.*

Это морская, миксотрофная динофлагеллята, которая может вызывать «цветения воды». Клетки средних размеров, слегка асимметричные, со стороны створки неправильно обратояйцевидные. Передний конец клетки округлый, с зубцом с тонкой перепонкой, задний сужен и заострен. Тека покрыта часто расположенными мелкими пороидами и более редкими крупными порами в радиальных рядах трубчатых трихоцитов. Два пластичных, желто-бурых хлоропласта содержат крупные внутренние периноиды. Ядро большое, расположено в задней части тела. Размеры: 35-70 мкм длина, 20-50 мкм ширина. Это, в основном, одиночный вид, но может встречаться парами во время размножения - двойного деления. Клетки *Prorocentrum micans* сильно различаются как по форме, так и по размеру. *Prorocentrum micans* в основном встречается в неритических и устьевых водах, но также наблюдается в океанических средах. Считается, что он хорошо переносит высокую соленость, потому что он встречается в гиперсоленых лагунах на Карибских островах.

*Prorocentrum cordatum.*

Клетки мелкие, слабо сжатые с боков, сердцевидные, обратно яйцевидные или округлые со стороны створки и удлинено-яйцевидные со стороны шва. Передний конец с небольшой выемкой на правой створке, но без апикального шипа. Тека довольно толстая, с нежными порами и мельчайшими шипиками. Два жгута выходят из жгутиковой поры на переднем конце, несколько больше длины тела. Хлоропласты бледно-желтые, пластичные, один или два. Размеры: 8-24 мкм длина, 4-20 мкм ширина, 4-10 мкм толщина.

*Prorocentrum lima.*

Клетки сжатые с боков, со створки более или менее яйцевидные или эллипсоидные. Обе створки имеют по краям по одному ряду мелких пор. Одна створка на переднем конце с более глубокой выемкой, другая без выемки, совершенно плоская. Передний конец с выемкой на обеих створках, но без шипов. Оболочка с нежными порами, часто не одинаковой величины и неравномерно расположенными. Каждая створка содержит по 50-80 мелких округлых краевых пор диаметром 0,6 мкм, а также 60-100 крупных пор с трихоцитами диаметром 0,48 мкм. Краевые поры являются диагностическим признаком, отличающим этот вид от других видов *Prorocentrum*. Два больших желто-бурых хлоропласта пластинообразных с одним пиреноидом в центре клетки. Ядро расположено в нижней части тела. Размножения делением в подвижном или покоящемся состоянии. В стадии покоя клетки

могут прикрепляться с помощью ножки к водорослям. Вид морфологически изменчив. Размер: 30-50 мкм длина, 18-45 мкм ширина.

*Prorocentrum maximum*

Клетки овальные, ассиметричные, сжатые с боков, в выемке в области фрагеллярной области, с небольшим апикальным шипом. Размеры: 25-50 мкм длиной и 20-38 мкм шириной.

*Prorocentrum pusillum*

Клетки со стороны створок почти круглые, небольшая ширина в середине, впереди – небольшое углубление, текальные пластины толстые, с рассеянными по поверхности нежными трихоцитарными порами, хлоропластов 2, пристенные. Размер: 8-10 мкм длина, 6-12 мкм ширина.

## 2.2 Материал и методы исследований

Материалом для исследования служили пробы фитопланктона, собранные с поверхности. Пробы отбирали батометром в пластиковые ёмкости объёмом 1 – 1,5 л. Пробы сгущали методом обратной фильтрации через ядерные мембраны (производство г. Дубна) с диаметром пор 1 мкм до объема 20-40 мл (рис. 3). Пробы обрабатывали методом прямого счета в живой и сгущенной капле ( $V = 0,01$  мл), в камере ( $V = 0,8$  мл). Сгущенные пробы фиксировали раствором Люголя (2 мл на 100 мл пробы).



Рисунок 2.2 Концентрирование проб фитопланктона – метод обратной фильтрации

Пробы обработаны под световым микроскопом JENAVAL. Численность и биомассу фитопланктона рассчитывали с помощью компьютерной программы Plankton [1].

Для определения таксономического состава и численности МВ в пищевом комке мидии по 3 экз. моллюсков отбирали с коллекторов фермы на глубине 6 м, доставляли в лабораторию, сразу же вскрывали при помощи скальпеля, препарировали желудок, пипеткой отбирали его содержимое и анализировали под микроскопом. Численность МВ в 1 экз. мидии определяли подсчетом клеток под микроскопом в трех повторностях. Для сбора и исследования состава фекалий и псевдофекалий моллюсков высаживали в профильтрованную морскую воду на 2-4 часа.

Всего обработано 18 проб фитопланктона, 18 проб мидий и 18 проб биоотложений.

### **2.3 Статистическая обработка данных**

Для статистического анализа использовали метод так называемых «псевдовыборок». Полученную пробу разделяли на 3 части и каждую анализировали отдельно.

Классическая теория анализа эмпирических данных основывается на асимптотическом методе и использует то или иное стандартное (при стремлении размера выборки к бесконечности) распределение выборочных параметров. Современной альтернативой асимптотическому методу является моделирование и анализ эмпирического распределения данных с использованием методов генерации повторных выборок.

Понятие «повторные выборки» в общем случае отличается от обычного представления, применяемого в методах выборочного анализа. В том случае, когда нет возможности получить дополнительные истинные повторности наблюдений, разработаны методы, которые формируют так называемые "псевдовыборки", и на их основе можно получить необходимые вариативные характеристики искомого параметра: оценки математического ожидания, дисперсии, доверительного интервала и др. [9]

## РАЗДЕЛ 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 3.1 Видовой состав динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в планктоне, желудках мидий, биоотложениях

Наши наблюдения показали, что в весенне-летний период 2020 г. в планктоне и желудках мидий встречались 6 видов динофитовых рода *Prorocentrum*, из них *Prorocentrum maximum* отмечен только в планктоне, *P. lima* (токсичный вид) - только в желудках и только в августе. В биоотложениях зафиксировано 5 видов, вышеотмеченные виды не встречались (табл. 3.1). В апреле и августе во всех трех пробах общими были только 2 вида – *P. compressum*, *P. micans*; в мае общими видами оказались *P. compressum* и *P. cordatum*; в июне во всех пробах встретили 3 вида *P. cordatum*, *P. micans*, *P. pusillum*, в июле – только один – *P. micans*.

Таблица 3.1 Видовой состав динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в планктоне и мидиях

Ме- сяц	Виды		
	в планктоне	в желудках мидий	в биоотложениях
Апрель	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum maximum</i> <i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i>  <i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>   <i>Prorocentrum micans</i>
Май	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i>
Июнь	<i>Prorocentrum balticum</i>  <i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum maximum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>	<i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i>  <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i>  <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>
Июль	<i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>  <i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>
Август	<i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i>  <i>Prorocentrum maximum</i> <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i>  <i>Prorocentrum lima</i>  <i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum balticum</i> <i>Prorocentrum compressum</i> <i>Prorocentrum cordatum</i>   <i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum pusillum</i>

Примечание: голубым – общие виды для трех проб, красным – вид-продуцент фитотоксинов

Следует отметить, что в большинстве случаев в планктоне отмечено большее количество видов по сравнению с желудками мидий и биоотложениями. Возможно, это связано либо с избирательностью питания моллюсков (какие-то виды они предпочитают больше, какие-то меньше), либо со скоростью переваривания отдельных клеток. Однако, в летний период мы также отметили различия в видовом составе водорослей в желудках и биоотложениях. Так в июне *P. balticum*, в июле *P. pusillum* и *P. cordatum*, в августе *P. cordatum* и *P. pusillum* не были встречены в желудках, но зафиксированы в биоотложениях (табл. 3.1). При этом все эти виды встречались в планктоне. Это можно объяснить различной скоростью прохождения разных видов через желудочно-кишечный тракт.

### 3.2 Наполняемость желудков мидий динофитовыми водорослями рода *Prorocentrum*

Показано, что в составе планктона морской воды доля динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* чрезвычайно мала – от 0,02 до 1,75% от общей численности фитопланктона (рис. 3.1). В весенний период, когда вода еще не прогрелась, а в планктоне доминируют в основном диатомовые водоросли, доля *Prorocentrum* минимальна. В летний период она несколько выше, поскольку динофитовые водоросли большей частью теплолюбивы, их развитие чаще всего приходится на теплый период года.

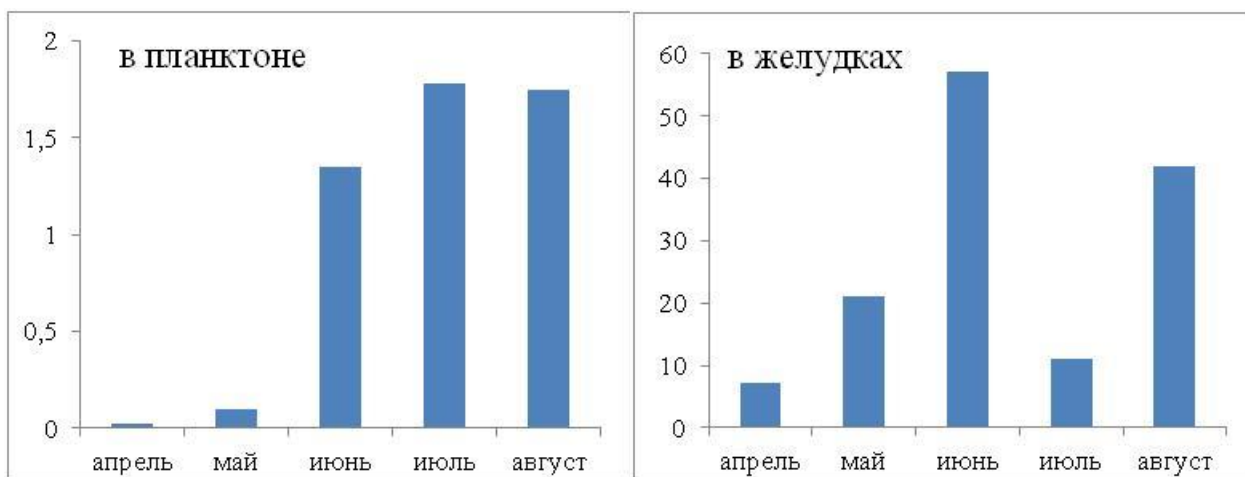


Рисунок 3.1 Доля клеток динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* по отношению к общему количеству клеток микроводорослей в планктоне и в желудках мидий

Если посмотреть на общую численность этого рода в воде и вклад отдельных видов, то мы видим, что максимальная численность (более 3 000 кл/л) отмечена в июне, минимальная (менее 250 кл / л) – в апреле (рис. 3.2). При этом апреле-мае наибольший вклад в общую численность рода

приходилось на *P. balticum*, в июне - на *P. cordatum*, а в июле и августе – на *P. micans* (рис. 3.2).

В желудках мидий доля динофитовых рода *Prorocentrum* в общей численности микроводорослей колебалась от 7 до 58% с максимумом показателя в июне и августе (рис. 1).

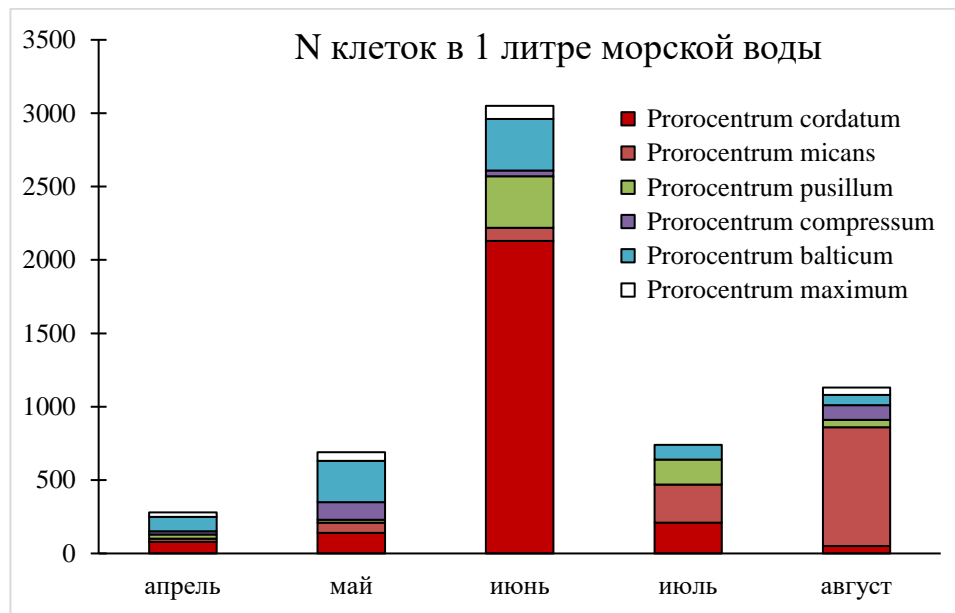


Рисунок 3.2 Численность клеток динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в планктоне

Наполненность желудков в разные месяцы была различной. Максимальная численность клеток динофитовых рода *Prorocentrum* (2700 клеток в 1 мидии) отмечена в августе, причем более 50 % составлял вид *P. micans* (рис. 3.3), который вносил значительный вклад в общую численность рода и с мая по июнь. Довольно высокой численностью была и в мае (более 1500 клеток в 1 мидии), но здесь доминировала *P. compressum*. Доминирование *P. compressum* показано и в апреле (более 90% общей численности рода), высокой численностью была и в апреле, а в июне-июле ее численность была минимальна. Следует отметить, что эти два вида встречены в 100% проб планктона морской воды и желудков мидий, и только в мае не отмечены в биоотложениях (табл. 3.1).

*Prorocentrum lima* – продуцент домоиковой кислоты и синуатоксина, которые вызывают у человека диарретическое моллюсковое и синуатерное рыбное отравления – встречалась в желудках мидий только в августе, ее численность в желудке 1 мидий составила в среднем 40 клеток. В планктоне этот вид не отмечен.

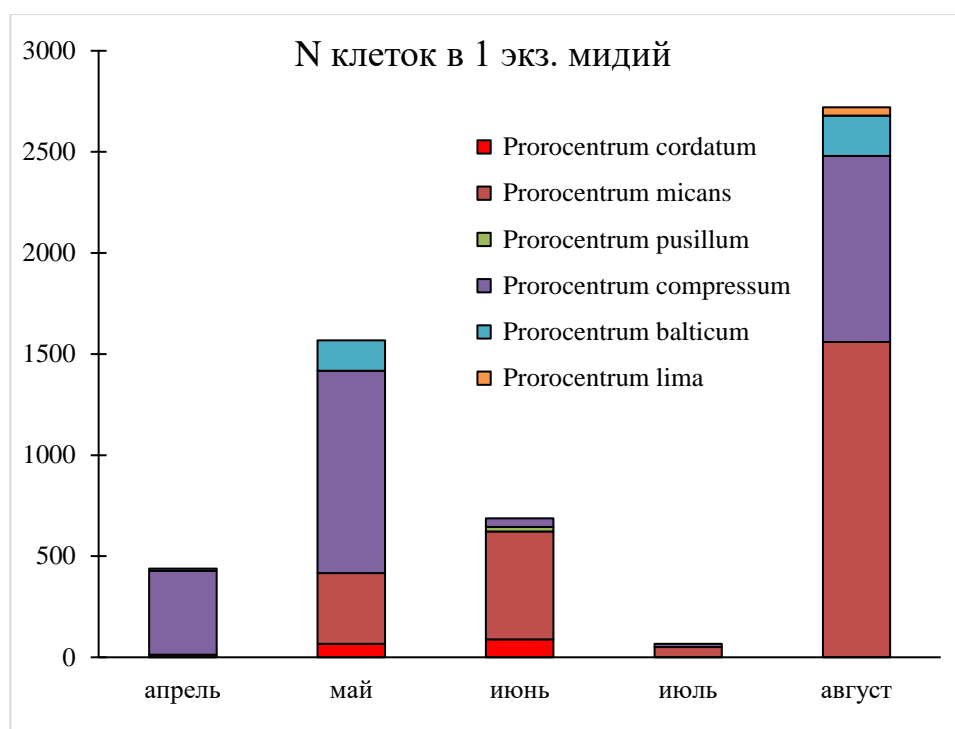


Рисунок 3.3 Численность клеток динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в желудках мидий

В апреле небольшая численность и доля пророцентрумов в желудках мидий объясняется доминированием кокколитофориды *Emiliana huxleyi* (58% от суммарной численности микроводорослей в желудках).

В мае более 23% в желудках мидий занимает динофитовая *Scropsiella trochoidea*, а также более 30% - диатомовые водоросли, что отмечено было и для июня.

В июле вновь появилась в желудках *E. huxleyi* (20%), а также обнаружено большое количество мелких зеленых водорослей и мелких жгутиковых (до 50%). В августе до 40% от суммарной численности микроводорослей в желудках занимали потенциально токсичные динофлагелляты рода *Dinophysis*.

### 3.3. Усвояемость и избирательность водорослей рода *Prorocentrum* черноморскими мидиями

Параллельно с исследованием содержимого желудков отбирали биоотложения (фекалии и псевдофекалии) у мидий, которых высаживали в профильтрованную морскую воду на 2 часа. Видовой состав водорослей рода *Prorocentrum* представлен в табл. 3.1. Большинство клеток, отмеченных в фекалиях, были живыми – имели неповрежденные створки, содержимое клетки, хлоропласты, – некоторые из них сохраняли подвижность.

Сравнительный анализ вклада водорослей изучаемого рода в общую численность микроводорослей в желудках и биоотложениях показал

сезонные отличия. Так, в апреле при незначительной доле пророцентрумов в желудках, их доля в фекалах была в 2 раза выше рис. 3.4.

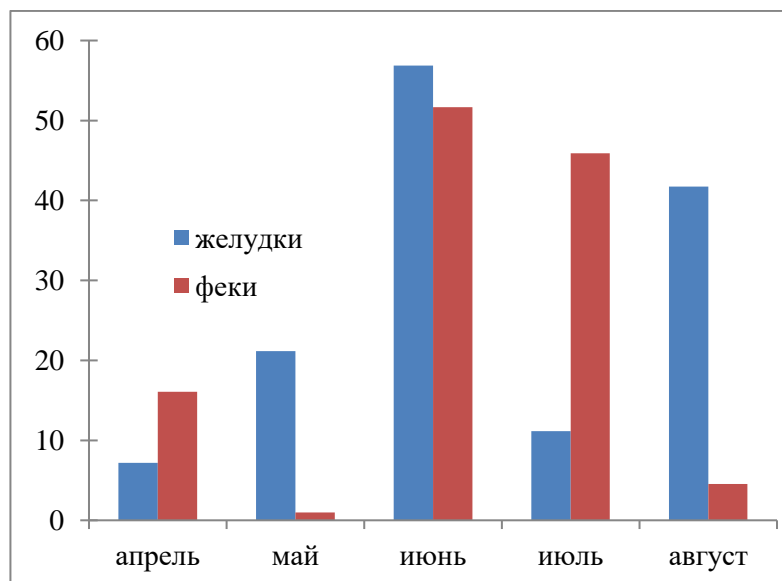


Рисунок 3.4 Доля водорослей рода *Prorocentrum* по отношению к общему количеству клеток микроводорослей в желудках мидий и биоотложениях

Апрель – время массового развития микроводорослей. Известно, что в это время отмечено доминирование мелкоклеточной кокколитофориды *Emiliana huxleyi*, в желудках ее также было более 50%. Поскольку она хорошо переваривается мидиями, в фекалиях ее не встречали, поэтому доля пророцентрумов увеличилась. Поскольку в планктоне было достаточно легкоусвояемой пищи, пророцентрумы, имеющие довольно прочные створки, усваивались хуже и большей частью выводились наружу неперевааренными. В мае доля пророцентрумов в фекалах была менее 2%, т.е. большинство клеток были переварены. В июне на фоне высокой численности пророцентрумов в планктоне воды их численность и в желудках, и в биоотложениях также была высокой, как и доля в общей численности микроводорослей (выше 50%), т.е. большое количество клеток моллюски не успевали усвоить и наряду с усвояемостью, много клеток выводилось наружу в составе фекалий (рис. 3.4).

В июле доля пророцентрумов в желудках не превышала 10%, тогда как в фекалах она составляла более 40%. Возможно на фоне высокой температуры морской воды моллюски снижали скорость фильтрации и замедлялась скорость прохождения пищи через ЖКТ, а также снижалась усвояемость. В результате пророцентрумы с их прочными створками дольше задерживались в желудках, накапливаясь. При этом усваивалась более легкоперевариваемая пища, а пророцентрумы большей частью выводились неперевааренными. В августе, несмотря на высокую численность клеток пророцентрумов в желудках, их доля в фекалах была чуть более 5%. В августе в планктоне преобладали крупноклеточные диатомовые водоросли, которые недоступны

для питания мидий, и ввиду недостатка пищи усвояемость пророцентрумов была высокой.

Если проанализировать видовой состав пророцентрумов в воде, желудках и биоотложениях в относительных единицах (%), то можно предположить избирательность мидий при питании и при усвояемости отдельных видов. Отмечено, что в планктоне преобладают *P. balticum* и *P. cordatum*, а в желудках - *P. micans* и *P. compressum*. В биоотложениях же весной доминировали *P. cordatum* и *P. compressum*, а летом - *P. micans* (рис. 3.5). Клетки *P. balticum* мелкие, и, возможно, хорошо перевариваются мидиями, поэтому мало встречаются в желудках и фекалиях. А токсичный вид *P. lima* был отмечен только в августе в желудках и то в минимальных количествах, в воде и биоотложениях он нами обнаружен не был. *P. cordatum* в желудках встречался в минимальных количествах, но концентрировался в фекалиях. По-видимому, он плохо усваивается мидиями.

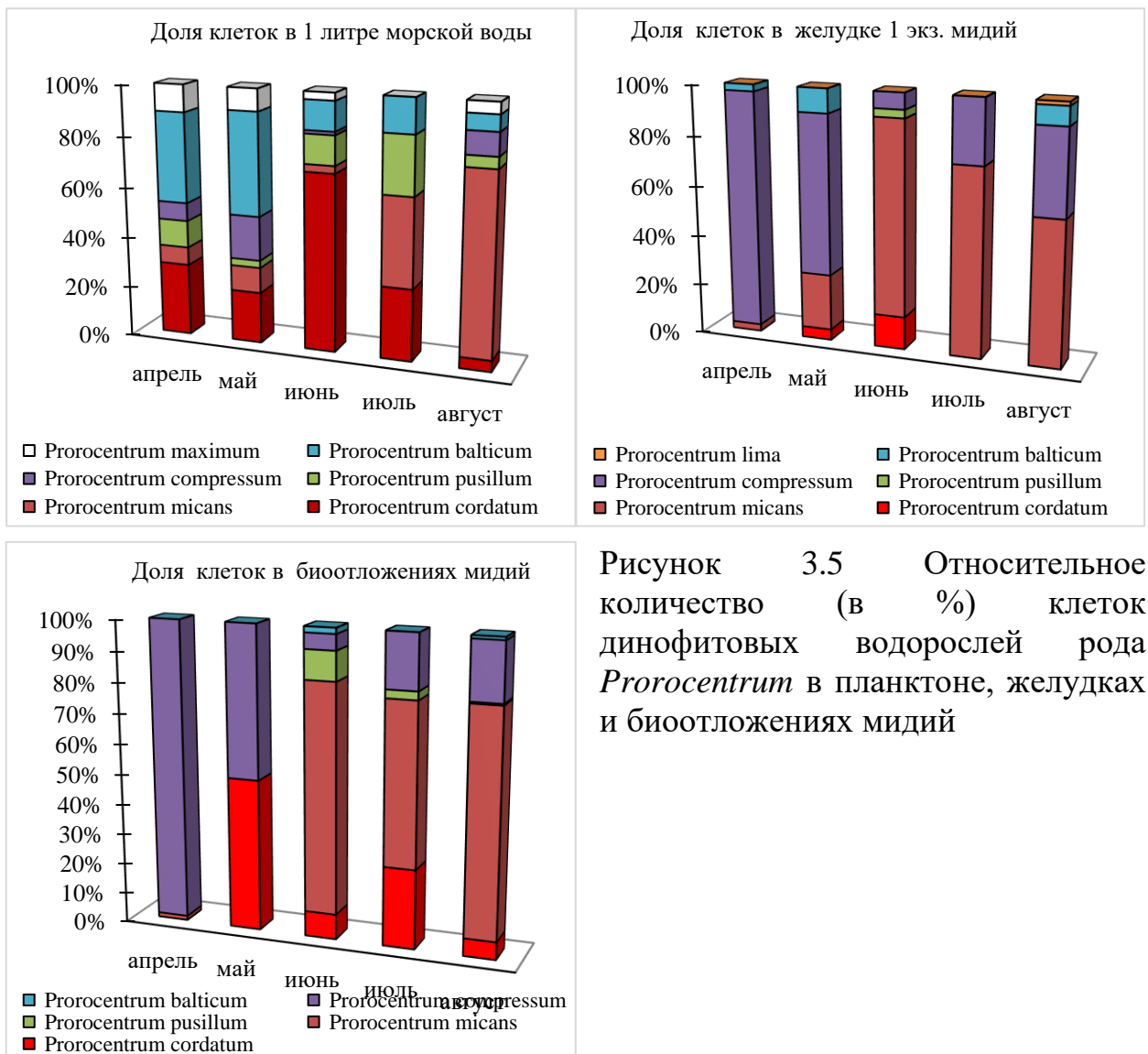


Рисунок 3.5 Относительное количество (в %) клеток динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в планктоне, желудках и биоотложениях мидий

Мы предполагаем, что мидии выбирают из планктона при фильтрации в основном 2 вида пророцентрумов – *P. micans* и *P. compressum*. Однако, при этом эти же клеток много и в фекалиях. Возможно, за счет плотных створок они недостаточно хорошо перевариваются.

Известны, две гипотезы относительно механизмов, лежащих в основе увеличения доли динофитовых в желудках мидий:

- 1) мидии предпочитают эту группу МВ диатомовым.
- 2) динофитовые гораздо более устойчивы к внеклеточному пищеварению, чем диатомеи, и остаются дольше в кишечнике.

По нашему мнению, гипотеза 1 маловероятна. Хотя мы не можем исключать и это, поскольку динофлагелляты имеют округлую форму, что облегчает их потребление.

Гипотеза 2 более вероятна, поскольку многолетние наблюдения сотрудников ИнБЮМ показывают значительное количество клеток динофитовых в желудках мидий, тогда как в планктоне виды встречаются единично. Большое количество динофитовых и в биоотложения мидий, причем многие клетки остаются живыми.

Таким образом, подтверждается наличие избирательности мидий при питании фитопланктоном. Предполагается также разная степень усвояемости различных видов микроводорослей рода *Prorocentrum*, однако этот вопрос требует дальнейших исследований.

Предпочтение культивируемыми мидиями микроводорослей рода *Prorocentrum* в спектре питания позволяет нам рекомендовать учитывать видовой состав микроводорослей в планктоне при оценке акваторий, перспективных для размещения морских ферм.

## ВЫВОДЫ

1. В весенне-летний период 2020 г. в морской воде, желудках мидий и их биоотложениях отмечено 7 видов динофитовых рода *Prorocentrum*. Во всех трех пробах общими были от 1 до 3-х видов. Наибольшая встречаемость (90-100%) отмечена для двух видов – *P. micans* и *P. compressum*.

2. Доля динофитовых водорослей рода *Prorocentrum* в составе планктона морской воды варьировала от 0,02 до 1,75% от общей численности фитопланктона, в содержимом желудков мидий – от 7 до 58 % от общей численности микроводорослей.

3. Наполненность желудков мидий с апреля по август была различной. Максимальная численность клеток динофитовых рода *Prorocentrum* в желудках мидий отмечена в августе.

4. Подтверждается наличие избирательности мидий при питании фитопланктоном. Отмечено доминирование в желудках 2-х видов – *P. micans* и *P. compressum*. Предполагается также разная степень усвояемости различных видов микроводорослей рода *Prorocentrum*, однако этот вопрос требует дальнейших исследований.

5. При выборе акватории размещения морских ферм рекомендуется учитывать видовой состав планктонных микроводорослей в прибрежной акватории.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лях А.М. Компьютерная программа для расчета основных параметров фитопланктона / А.М. Лях, Ю.В. Брянцева // Экология моря, 2001. – Вып. 58. – С. 36 – 37.
2. Сеничева М.И. Характеристика фитопланктона как объекта питания *Mytilus galloprovincialis* Lam. в районе марихозяйства бухты Ласпи // Экология моря. – 1990. – Вып. 36. – С. 7 – 15.
3. Солдатова И.Н. Особенности роста мидии (*Mytilus edulis* L.) из разных биотопов // IV Всесоюз. Совещ. По науч.-техн. Проблемам марикультуры. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 195-196.
4. Солдатова И.Н., Лукашева Т.А. Энергетический обмен массовых моллюсков-обрастателей и их бентических викариатов // Биология шельфовых зон Мирового океана. Владивосток: Ин-т биологии моря ДВНЦ АН СССР, 1982. Ч. 1. С. 168-169.
5. Цихон-Луканина Е.А. Трофология водных моллюсков. М.: Наука. 1987. 175 с.
6. Asmus H., Asmus R.M. Phytoplankton - mussel bed interactions in intertidal ecosystems // Bivalve Filter-feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes. Dame RF (Ed.) Springer, New York, USA. 1993. P. 57-84.
7. Asmus, R. H., Asmus, H. (1991): Mussel beds: limiting or promoting phytoplankton? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 148, 215–232.
8. Beukema J.J., Cadee G.C. (1991) Growth rates of the bivalve *Macoma balthica* in the Wadden Sea during a period of eutrophication: relationships with concentrations of pelagic diatoms and flagellates. Mar Ecol Prog Ser 68: 249- 256.
9. Davison, A.C., Hinkley, D.V. 2008: Bootstrap methods and their application (10th ed.). Cambridge University Press.
10. Deslous-Paoli J.M., Boromthanasart S., Heral M., Boromthanasart W., Razet D. Energy budget of a *Mytilus edulis* L. population during its first year on bouchonts in the bay of Marennes-Oleron. Aquaculture. 1990. V. 91. P. 49-63.
11. Deslous-Paoli J.M., Heral M., Zanette Y. Problemes poses par l'analyse des relations trophiques huitre-milieu. Journees du GABIM, 18-20. Nov. 1981, Publ. CNEXO (Actes Colloq.). 1982. V. 14. P. 335-340.
12. Epifanio C.E. (1983) Phytoplankton and yeast as food for juvenile bivalves: a review of research at the University of Delaware. In: Pruder G.D., Langdon C., Conklin D. (eds.) Proc. Sec. Int. Conf. Aquaculture Nutrition. Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition. Louisiana state University, Baton Rouge, Louisiana:292-304
13. Grant J Cranford PJ (1991) Carbon and nitrogen scope for growth as a function of diet in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. J mar biol Ass UK 71:437-450
14. Hickel W (1984) Seston in the Wadden Sea of Sylt (German Bight, North Sea). Neth Inst Sea Res-Publ Ser 10:113-131

15. Incze L.S., Lutz R.A., Watling L. Relationships between effects of environmental temperature and seston on growth and mortality of *Mytilus edulis* in a temperate northern estuary. *Mar Biol.* 1980. V. 57. P. 147-156.
16. Jasprica, N., Cari, M., Bolotin, J. Rudeljak–Lukenda, M. (1997): The Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) growth rate response to phytoplankton and microzooplankton population densities in the Mali Ston Bay (Southern Adriatic). *Periodicum biologorum*, 99, (2), 255–264.
17. Laing I., Utting S.O., Kilada R.W.S., (1987) Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. *J Exp Mar Biol Ecol* 113:23-38
18. Langdon CJ Newell RIE (1990) Utilization of detritus and bacteria as food sources by two bivalve suspensionfeeders, the oyster *Crassostrea virginica* and the mussel *Geukensia demissa*. *Mar Ecol Prog Ser* 58:299-310
19. Navarro E., Iglesias J.I.P., Perez Camacho A., Labarta U., Beiras R. The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in the Ria de Arosa (Galicia, N.W. Spain). *Aquaculture*. 1991. V. 94. P. 197-212.
20. Nicol D. Some observations on the hollow curve of distribution // *Fla Sci.* 1981. Vol. 44, N 2. P. 118-123.
21. Nielsen M.V., Stromgren T. Shell growth response of mussels (*Mytilus edulis*) exposed to toxic microalgae. *Mar BioI.* 1991. V. 108. P. 263-267.
22. Page, H. M., Hubbard, D.M. (1987): Temporal and spatial patterns of growth in mussels *Mytilus edulis* on an offshore platform: relationships to water temperature and food availability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 111, 159–179.
23. Savage R.S. The food of the oyster // *Fish. Invest. London. Ser. 2.* 1925. Vol. 8, N. 1. P. 1-50.
24. Shumway S.E. A review of the algal blooms on shellfish and aquaculture. *J World Aquaculture Soc.* 1990. N. 21. V. 2. P. 65-104.
25. Tenore K.R., Dunstan W.M. Comparison of feeding and biodeposition of three bivalves at different food levels // *Mar. biol.* 1973. Vol. 21. P. 190-195.
26. Verwey J. on the ecology of distribution of cockle and mussel in the Dutch Wadden Sea. Their role in sedimentation and the source of their food supply // *Arch. Neer. Zool.* 1952. Bd. 10. S. 171-239.
27. Williams P. Detritus utilization by *Mytilus edulis*. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 1981. V. 12. P. 739-746.
28. Winter J.E. Growth in *Mytilus edulis* using different types of food. *Ber dtsch Wiss Kommn Meeresforsch.* 1974. V. 23. P. 360-375.
29. Xu, Q., Yang, H. (2007): 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*, 26, (2), 1–7.