

УДК [594.3-15:[57.043:536]](262.5)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СОСТАВ, ЧИСЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ ЧЕРНОМОРСКИХ МОЛЛЮСКОВ *HYDROBIA ACUTA* И ЗАРАЖЕННОСТЬ ИХ ПАРТЕНИТАМИ ТРЕМАТОД *GYNAECOTYLA ADUNCA*

© 2024 г. Ю. В. Белоусова[@], М. В. Макаров, А. М. Лях

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», пр. Нахимова, 2, Севастополь, 299011 Россия
[@]e-mail: julls.belousova@gmail.com

Поступила в редакцию 22.12.2023 г.

После доработки 09.06.2024 г.

Принята к публикации 10.06.2024 г.

В статье выполнен анализ влияния температуры воды на размеры, численность популяции моллюсков *Hydrobia acuta* и их зараженность партенитами трематод *Gynaecotyla adunca* в бухте Казачьей (Черное море). Выявлено, что изменение температуры объясняет около 60% изменчивости экстенсивности инвазии и около 30% изменчивости численности моллюсков. Установленные корреляционные зависимости могут быть использованы для приближенной оценки влияния температуры воды на показатели численности популяции моллюсков и их зараженности партенитами трематод в черноморской акватории.

Ключевые слова: моллюски, *Hydrobia acuta*, трематоды, партениты, *Gynaecotyla adunca*, температура воды

DOI: 10.31857/S1026347024060085, **EDN:** ukosnm

Бухта Казачья расположена на юго-западном побережье Крымского полуострова и свободно прилегает к открытой части Черного моря. Бухта является примером черноморской акватории, которая на протяжении долгих десятилетий относилась к наименее загрязненным бухтам Севастополя, являясь одноименным государственным природным заказником (Миронов, 2002; Котельянц и др., 2017).

Изучение паразитов гидробионтов, обитающих в морских экосистемах заказников и заповедников Крымского побережья Черного моря, ведется с начала прошлого века. Наибольшее внимание было уделено паразитофауне рыб Карадагского природного заповедника, Орнитологического филиала Крымского природного заповедника международного значения «Лебяжьих островов» и частично акватории прибрежно-аквального комплекса заказника «Бухта Казачья» (Дмитриева и др., 2009; Пронькина, Полякова, 2013). Однако исследования по влиянию абиотических факторов, в частности температуры, на зараженность черноморских моллюсков в бухте Казачьей ранее не проводились.

На рыхлых грунтах вершины бухты Казачьей наиболее многочисленным видом брюхоногих моллюсков признан *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) (Макаров, 2020), а наиболее часто встречающимся видом трематод у этих гастропод зарегистрирован *Gynaecotyla adunca* (Linton, 1905) (Yamaguti, 1939) (Belousova, 2022).

В настоящем исследовании была поставлена цель изучить влияние температуры воды на размеры, численность популяции моллюсков *Hydrobia acuta* и на их зараженность партенитами трематод *Gynaecotyla adunca* в одной из наименее загрязненных бухт Крымского полуострова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Отбор проб моллюсков проводили с рыхлых песчаных грунтов с августа 2011 г. по июль 2012 г. ежемесячно в бухте Казачьей на станции с координатами 44° 34' 21.4» с. ш., 33° 24' 15.2" в. д. (рис. 1), в двух повторностях, на глубине 0.1 м с помощью ручного дночерпателя Петерсена (площадь захвата — 0.04 м²). Одновременно

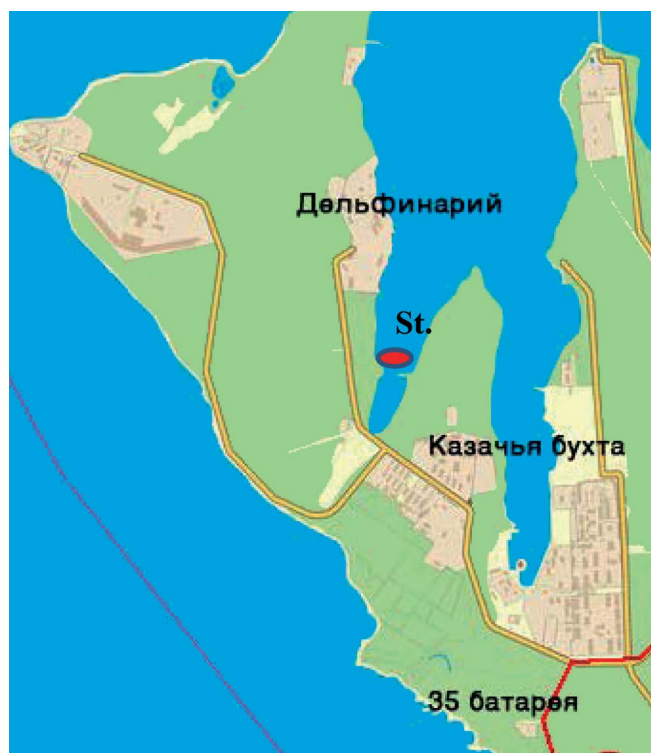


Рис. 1. Карта отбора проб брюхоногих моллюсков *Hydrobia acuta*. St. — точка отбора проб.

на этой же глубине погружным термометром измеряли температуру воды ($^{\circ}\text{C}$).

В лаборатории грунт промывали через сито размером ячеей 0.5 мм и отбирали моллюсков *H. acuta*. Далее подсчитывали численность (экз.) на единицу площади дна (м^2) и измеряли высоту их раковины с помощью штангенциркуля или окуляр-микрометра.

Для гельминтологических исследований моллюсков в течение 10 дней содержали в кристаллизаторах объемом 200 мл. Морскую нефiltroванную воду в кристаллизаторах меняли один раз в 2–3 дня.

Моллюсков исследовали на наличие гельминтов под микроскопом МБС-10 компрессорным методом (Быховская-Павловская, 1969) при увеличении $\times 98$. Всего исследовано 890 экземпляров. Далее рассчитывали экстенсивность инвазии моллюсков партенитами трематод *Gynaecotyla adunca*.

Статистический анализ данных выполнен при помощи системы R.

Для оценки характера связей между параметрами популяции моллюсков (размер и численность особей), показателями инвазии партенитами трематод (экстенсивность инвазии — ЭИ) и температурой воды вычислены коэффициенты корреляции Спирмана, ρ (функция cor.test стандартной библиотеки R). Достоверность корреляционных отношений проверена при 95% уровне значимости ($p = 0.05$).

Для оценки достоверности различий между выделенными группами размеров популяции моллюсков в разные периоды года использован текст Краскелла–Уоллиса (функция kruskal.test стандартной библиотеки R). Для попарного сравнения групп использована процедура множественного сравнения после теста Краскелла–Уоллиса (функция kruskalmc из пакета pgirmess среды R).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В течение всего периода исследования моллюски *H. acuta* встречались в верхней части песчано-илистого грунта. В целом можно выделить

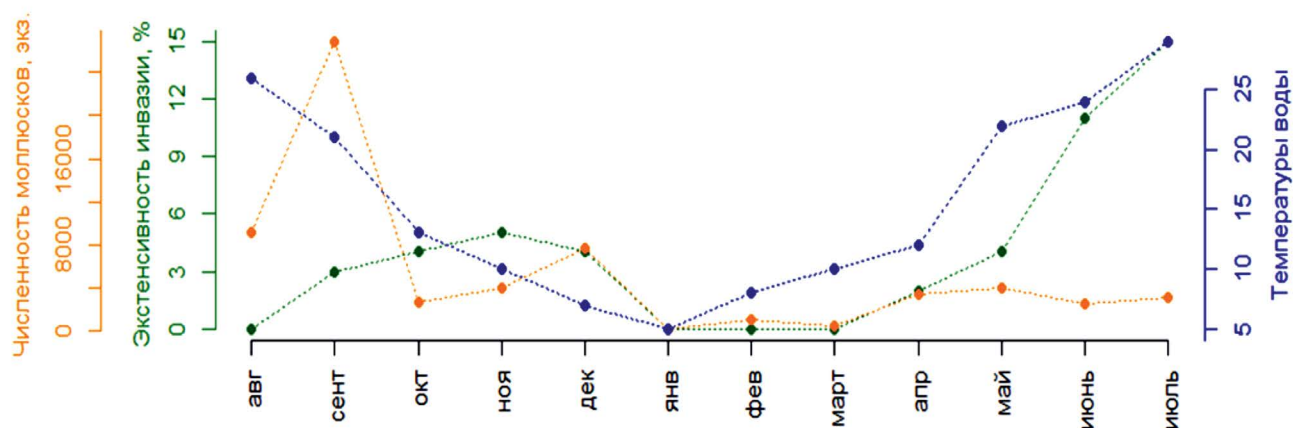


Рис. 2. Зависимость численности популяции гастропод *Hydrobia acuta* и показателей инвазий их дочерними партенитами трематод *Gynaecotyla adunca* от температуры морской воды.

3 периода встречаемости моллюсков *H. acuta* в течение года (рис. 2): I период — с января по март, когда плотность популяции *H. acuta* оставалась очень низкой (период зимовки), II — с апреля по август, наблюдалось плавное повышение численности популяции *H. acuta*, III — пик численности моллюсков (сентябрь), связанный с появлением подросшей молоди, которая возвращается к урезу воды. С октября наблюдается резкий спад численности популяции моллюсков.

Анализ размерной структуры популяции моллюсков *H. acuta*, представленный на рис. 3, показал, что для моллюсков можно выделить следующие размерные когорты: I — размер моллюсков 2–4 мм — появившаяся молодь (преобладала с августа 2011 г. по январь 2012 г., в июне 2012 г.), II — моллюски средних размеров 5–6 мм — подрастающая молодь (февраль–март), III — моллюски крупных размеров 6–12 мм — старшее поколение в период размножения (апрель–май) (рис. 3).

В ходе исследования установлено, что у моллюсков к моменту размножения размер раковин достигал не менее 6 мм. Период размножения исследуемых гидробий зарегистрирован с апреля по май с высоким процентом моллюсков III когорты, несущих яйцевые капсулы. Впоследствии появление моллюсков размером до 4 мм (I когорта) в июне показало, что в этот месяц происходило пополнение популяции моллюсков после периода размножения (рис. 3). В июле с повышением температуры воды наблюдается активный рост молоди и увеличение размеров раковин моллюсков (4–6 мм), таким образом, мы отмечаем прямую положительную корреляцию между температурой воды и ростом моллюсков. В дальнейшем с августа по декабрь сохраняются

основные размерные характеристики популяции гидробий (размеры 2–6 мм) (рис. 3). В январе особи моллюсков мигрируют на глубину 1–2 м на зимовку.

В течение года в акватории бухты Казачья у моллюсков *H. acuta* зарегистрированы партениты микрофаллидной трематоды *G. adunca*, для которых проанализирована сезонная динамика их численности (рис. 2).

В изученном биотопе спороцисты *G. adunca* встречались в моллюсках *H. acuta* практически весь год. В сезонной динамике численности партенит *G. adunca* четко выделяются периоды массового заражения моллюсков, которые графически отображаются двумя пиками численности партенит — в июле и ноябре (рис. 2).

В бухте Казачьей с января по март мы не отметили зараженных партенитами *G. adunca* моллюсков *H. acuta* (экстенсивность инвазии — 0%). В апреле наблюдалась тенденция к плавному росту экстенсивности инвазии партенитами микрофаллид. Все моллюски, зараженные партенитами *Gynaecotyla*, в период с мая по июль содержали в гонадах значительное количество партенит. В августе доля партенит трематод резко падала из-за гибели старых особей моллюсков, а молодь моллюсков еще не успела заразиться. В октябре зарегистрировано плавное увеличение численности партенит, что отображается вторым незначительным пиком заражения в ноябре.

При помощи корреляционного анализа мы выявили положительную корреляционную связь между показателями экстенсивности инвазии и численности моллюсков и температурой воды. Установлено, что показатели зараженности и численности моллюсков достоверно связаны

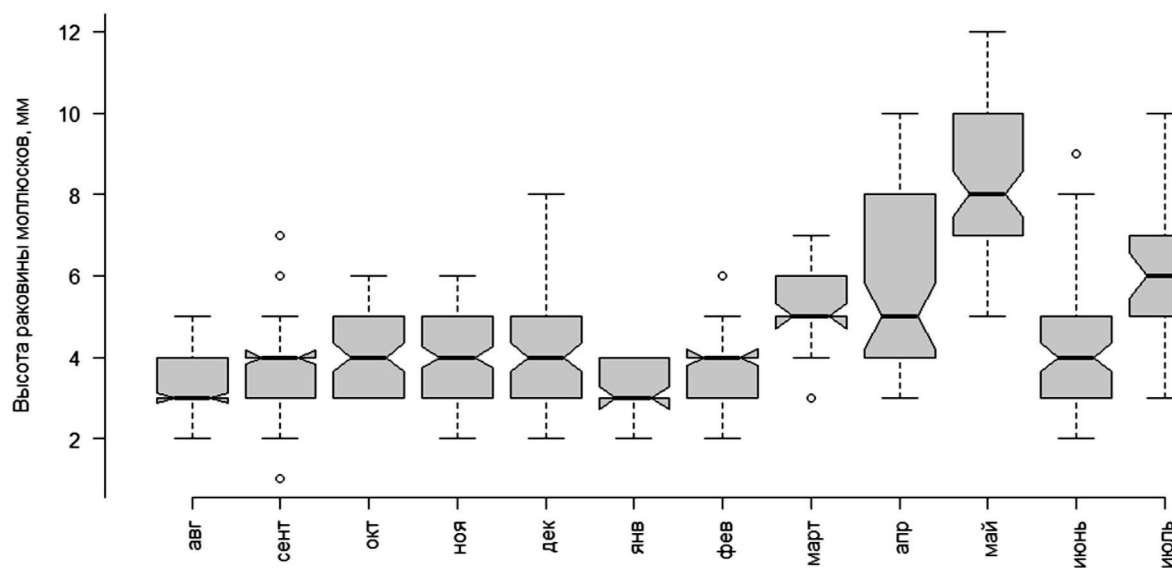


Рис. 3. Размерная структура популяции моллюсков *Hydrobia acuta* в 2011–2012 г.

с температурой воды не в текущий, а в предыдущий месяцы (t_{-1}). Связь с температурой в текущий месяц была недостоверной.

$$\rho(\text{ЭИ}, t_{-1}) = 0.76, p = 0.007, \rho^2 = 0.58;$$

$$\rho(\text{числ.}, t_{-1}) = 0.53, p = 0.091, \rho^2 = 0.28.$$

Для того чтобы выявленная взаимосвязь стала более наглядной, мы разделили весь период наблюдений на три этапа со схожей тенденцией изменения температуры и рассмотрели размерную структуру популяции моллюсков в выделенные периоды (рис. 4). Тест Краскелла–Уоллиса показал наличие статистического значимого различия между размерами моллюсков в выделенных группах ($p < 0.01$). Дальнейшее попарное множественное сравнение групп выборок показало, что отличия между всеми парами групп размеров моллюсков было достоверным. Таким образом, периоды годового цикла с достоверно различающейся размерной структурой популяции моллюсков выглядят так:

- период с постепенным понижением температуры воды (август – февраль); в популяции существенно преобладали мелкие раковины гастропод размером 3–4 мм, тогда как доля более крупных раковин (более 6 мм) была незначительной;
- стабильное плавное повышение температуры воды (март – май). Размеры раковин заметно

увеличились, и одновременно с этим размерная структура популяции выровнялась. В целом преобладали раковины размером 4–10 мм, тогда как доля более мелких раковин была ничтожной;

- период с высокой температурой воды (июнь – июль). В популяции преобладали более мелкие, молодые моллюски размером 2–6 мм, а более крупные начали постепенно умирать после периода размножения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Жизненный цикл моллюсков семейства *Hydrobiidae* очень разнообразен как для разных видов этого семейства, так и для различных акваторий. Для моллюсков рода *Hydrobia* годовой ход температуры оказывает непосредственное влияние на процессы размножения и роста. В Северном и Балтийском морях проводились детальные исследования жизненных циклов двух видов моллюсков рода *Hydrobia*, однако для Черного и Средиземного моря описан жизненный цикл только моллюска *H. acuta*. В своей работе Р. Бриттон (1985) отмечает, что в Средиземном море молодые особи *H. acuta* начинают появляться в пробах в феврале–марте, а основное пополнение популяции моллюсков происходит с конца мая по июль. С середины июля в пробах Р. Бриттон регистрировал мертвых гастропод. Подросшая весенняя молодежь сначала

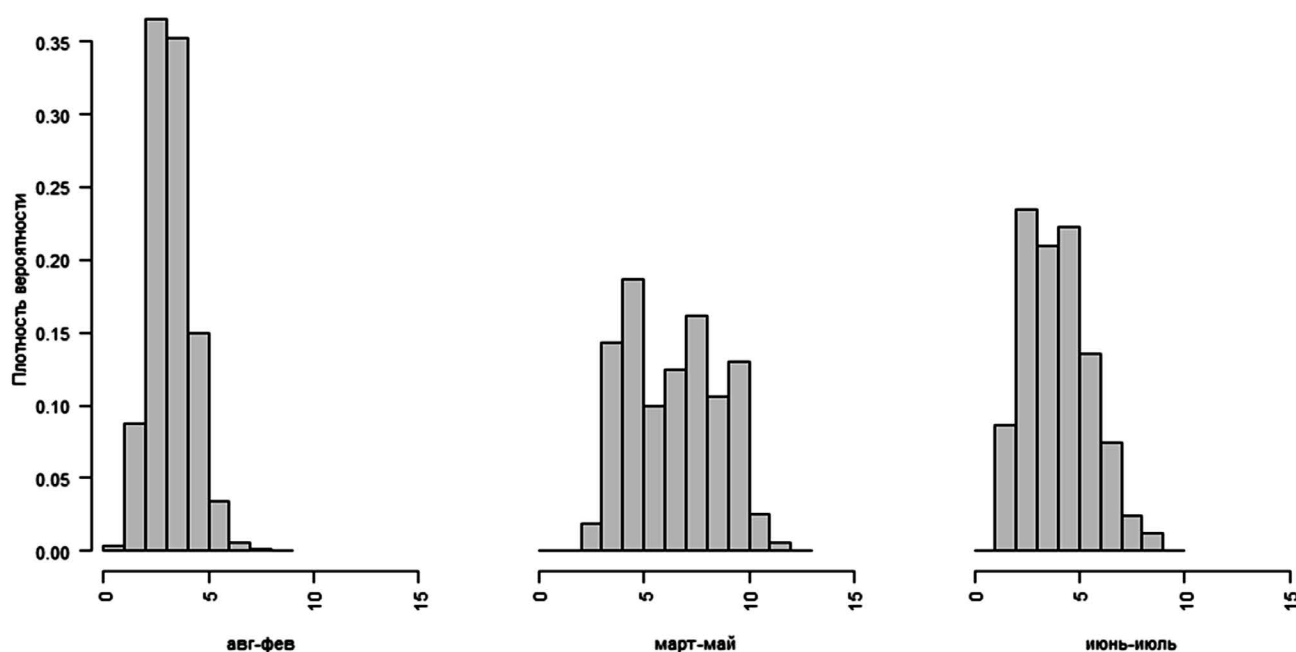


Рис. 4. Размерная структура популяции моллюсков в разные периоды годового цикла. По оси абсцисс – размеры раковин моллюсков в мм. По оси ординат – плотность вероятности. Это вероятность того, что размер раковины моллюска попадет в указанный диапазон значений.

росла медленно, затем показатели размера раковин моллюсков и численности их популяции увеличивались к концу лета и осени на фоне возрастающей температуры воды. К декабрю, по данным автора, рост моллюсков останавливался и особи мигрировали на глубину для зимовки. В.Д. Чухчин (1984) указывал, что размножение гидробий в Черном море, аналогично средиземноморскому бассейну, происходит в апреле – мае. Молодь гидробий появляется в июне и продолжает поступать в популяцию в течение лета. В конце осени преобладают моллюски нового поколения, мигрирующие в начале зимы на глубину 1–2 м (Чухчин, 1976). Моллюски старшей возрастной группы к этому времени уже погибают. В настоящем исследовании мы подтверждаем данные о том, что размножение черноморских *H. acuta* проходило с апреля по май, в июне происходило пополнение популяции моллюсков после периода размножения. В июле с повышением температуры воды наблюдалось плавное увеличение численности популяции моллюсков с пиком в сентябре, что обусловлено приростом популяции за счет развития молодых особей. В октябре с понижением температуры воды показатели численности моллюсков резко снижались вплоть до минимальных показателей численности в январе, поскольку в этот период гидробии мигрируют на глубину для зимовки (Чухчин, 1976). Такой годовой цикл моллюсков *H. acuta* графически отображается в виде мономодальной кривой.

Сезонная динамика численности моллюсков *H. acuta* в бухте Казачьей в определенной степени связана с изменениями температуры воды (рис. 4). Так, минимальные показатели температуры воды (5°C) и средней численности моллюсков (163 экз./м²) зафиксированы в январе. Максимальные показатели значений температуры воды отмечены в июле (29°C) и августе (26°C), а численности гидробий – в сентябре (27401 экз./м²). Полученные данные отображают прямую положительную корреляцию между температурой и показателями численности моллюсков. Для сравнения, по нашим данным, в устье реки Черная (окрестности Севастополя) в 2011–2012 гг. пик численности *H. acuta* (39625 экз./м²) и экстенсивности инвазии *Cryptocotyle lingua* (около 20 %) был в августе при температуре воды 23°C (Белоусова и др., 2024 в печати).

Полученные коэффициенты детерминации (r^2) показали, что изменение температуры объясняет около 60% изменчивости экстенсивности инвазии и около 30% изменчивости численности моллюсков. Таким образом, всего лишь треть изменчивости численности моллюсков связана с температурой в предыдущий месяц. В какой-то мере это подтверждает высказанную ранее гипотезу, основанную на исследованиях в другой черноморской акватории – эстуарии реки Черная (Белоусова и др., 2024, в печати)

о наличии отсроченной реакции изменения численности и экстенсивности инвазии моллюсков на температуру воды в Черном море.

По литературным данным, северный вид гидробий *Peringia* (= *Hydrobia*) *ulvae* (Pennat, 1777) живет до 2–3 лет, в то время как моллюск *Ecrobia* (= *Hydrobia*) *ventrosa* (Montagu, 1803) – от 1 до 1.5 лет (Kube *et al.*, 2002). Жизненный цикл исследованных в Черном море моллюсков *H. acuta* отличается от других видов рода *Hydrobia* тем, что является строго годовым с коротким периодом размножения (апрель – май). При этом черноморские гидробии достигают половой зрелости при небольших размерах до 10–12 мм в противовес крупным северным видам сем. *Hydrobiidae*. Полученные результаты согласуются с данными Р. Бриттона (1985), который отмечал, что в Средиземном море для *H. acuta* характерен годовой жизненный цикл, а период размножения у моллюсков наступает при незначительных размерах их раковин. Таким образом, жизненный цикл черноморских гидробий протекает аналогично циклу средиземноморских особей.

Заражение моллюсков *H. acuta* трематодами *G. adunca* варьировало на протяжении года. Максимальные показатели экстенсивности инвазии моллюсков *H. acuta* трематодой *G. adunca* приходятся на июль и ноябрь (рис. 2), с наименьшими показателями инвазии с января по март. Показатели экстенсивности инвазии партенитами моллюсков резко снижаются с января по март в связи с гибелью моллюсков старшей возрастной группы и уходом молоди на глубину для зимовки. Эти данные согласуются с данными других авторов, изучавших колебания численности партенит микрофаллидных трематод у моллюсков рода *Hydrobia* (Kube *et al.*, 2002). Мы предполагаем, что эти пики, с одной стороны, связаны с тем, что спороцисты *G. adunca* формируют микрогемипопуляции, самообновление состава которых происходит в течение года. На протяжении всего года мы отмечаем партенит со смешанным качественным составом, что обуславливает несинхронное отрождение дочерних спороцист.

С другой стороны, на показатели численности партенит влияет присутствие окончательных хозяев в исследуемом биотопе. То есть осенний пик численности партенит привязан к моменту скопления птиц на водоеме перед осенней миграцией (рис. 2). Возможно, этот фактор оказывает влияние на численность партенит (Sindermann, Farrin, 1962; Werding, 1969; Pohley, 1976; Mouritsen *et al.*, 1997).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ зараженности моллюсков – первых промежуточных хозяев трематод

в морских экосистемах прибрежного участка крымского шельфа Черного моря — оказал высокую частоту встречаемости партенит *G. adunca*, что обусловлено как благоприятным температурным режимом внешней среды для развития промежуточных хозяев и развивающихся в них партеногенетических личинок трематод, так и наличием окончательных хозяев, источника инвазионного начала, — яиц трематод.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы рукописи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЭТИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Это исследование было проведено в соответствии с этикой и благополучием животных, протокол заседания комиссии по биоэтике ФИЦ ИнБЮМ № 5/23 от 29 декабря 2023 года. Все исследования выполнялись в соответствии с Законом о ветеринарной и медицинской деятельности и Национальным законом о защите животных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН № 124022400148-4 «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоусова Ю.В., Макаров М.В., Лях А.М. Влияние температуры воды на зараженность черноморских моллюсков *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805) партенитами трематод *Cryptocotyle lingua* // Биология внутренних вод. 2024 (в печати)
- Быховская-Павловская И.Е. Паразитологическое исследование рыб. Ленинград: Наука, 1969. 108 с.
- Дмитриева Е.В., Белофастова И.П., Корнийчук Ю.М., Мачковский В.К., Пронькина Н.В., Полякова Т.А. Гельминтофауна рыб Карадагского природного заповедника // Сборник научных трудов, посвящ. биологической станции и 30-летию Карадагского природного заповедника НАНУ. Севастополь, 2009. 150 с.
- Макаров М.В. Современное состояние малакофауны рыхлых грунтов в вершинной части бухты Казачьей (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 119–130.
- Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Экологическая характеристика бухты Казачья (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 61. С. 85–89.
- Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А., Соловьева О.В. Некоторые геохимические показатели донных отложений прибрежной акватории под влиянием антропогенного фактора (на примере бухты Казачья, г. Севастополь) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2017. Т. 27. № 1. С. 5–13.
- Пронькина Н.В., Полякова Т.А. Гельминтофауна рыб акватории прибрежно-аквального комплекса заказника «Бухта Казачья» // Материалы VII Международной научно-практической конференции. Симферополь. 2013. С. 365–370.
- Чухчин В.Д. Жизненный цикл и рост *Hydrobia acuta* (Drap) и *Hydrobia ventrosa* (Mont) в Черном море // Биология моря. 1976. Вып. 37. С. 85–90.
- Чухчин В.Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. Киев: Наукова думка, 1984. 176 с.
- Belousova Yu.V. The First Data on Larvae of Trematodes from the Gastropod *Hydrobia acuta* in the Black Sea // Biol. Bull. Russ. Acad. Sci. 2022. V. 49. №. 1. P. 21–28. <https://doi.org/10.1134/S1062359022020042>
- Britton R.H. Life cycle and production of *Hydrobia acuta* Drap. (Gastropoda: Prosobranchia) in a hypersaline coastal lagoon // Hydrobiologia. 1985. V. 122. P. 219–230. <https://doi.org/10.1007/BF00018282>
- Kube S., Kube J., Bick A. Component community of larval trematodes in the mudsnail *Hydrobia ventrosa*: temporal variations in prevalence in relation to host life history // J. Parasitol. 2002. V. 88. № 4. P. 730–737. [https://doi.org/10.1645/0022-3395\(2002\)088\[0730:CCOLTJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1645/0022-3395(2002)088[0730:CCOLTJ]2.0.CO;2)
- Mouritsen K.N., Jensen T., Jensen K.T. Parasites on an intertidal Corophium-bed: Factors determining the phenology of microphallid trematodes in the intermediate host populations of the mud snail *Hydrobia ulvae* and the amphipod *Corophium volutator* // Hydrobiologia. 1997. V. 355. P. 61–70. <https://doi.org/10.1023/A:1003067104516>
- Pohley W.J. Relationships among three species of Littorina and their larval digenea. Mar. Biol. 1976. V. 37. P. 179–186. <https://doi.org/10.1007/BF00389127>
- Sindermann C.J., Farrin A.E. Ecological studies of *Cryptocotyle lingua* (Trematoda: Heterophyidae) whose larvae cause “pigment spots” of marine fish // Ecol Soc Am. 1962. V. 43. P. 69–75. <https://doi.org/10.2307/1932041>
- Werding B. Morphologie, Entwicklung und Ökologie digener Trematoden-Larven der Strandschnecke Littorina littorea. Mar. Biol. 1969. V. 3. P. 306–333. <https://doi.org/10.1007/BF00698861>

**Effect of water temperature on the size-age structure
of the population of *Hydrobia acuta* Black Sea molluscs
and on invasion with *Gynaecotyla adunca* parthenitae**

Y. V. Belousova[#], M. V. Makarov, A. M. Lyakh

Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

[#]*e-mail: julls.belousova@gmail.com*

In the present work, the influence of water temperature on the size-age structure and size of the population of *Hydrobia acuta* molluscs and their invasion with parthenites of the microphallid trematode *Gynaecotyla adunca* in Kazachya Bay (Black Sea) was studied. A positive correlation between the indicators of invasion extensity and the size, abundance of molluscs and water temperature was revealed. It was found that the seasonal dynamics of *G. adunca* parthenites abundance clearly distinguishes the periods of mass infestation of molluscs, which are graphically displayed by two peaks – in July and November. It was confirmed that the life cycle of the Black Sea molluscs *Hydrobia acuta* proceeds similarly to that of Mediterranean individuals

Keywords: molluscs, *Hydrobia acuta*, trematoda, parthenitae, *Gynaecotyla adunca*, water temperature