

Ю. Ю. Полунина^{1, 2}, †С. М. Никитина²
А. В. Гуцин¹

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
ОТДЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ НЕРЕСТА БАЛТИЙСКОЙ СЕЛЬДИ
НА МОДЕЛЬНЫЙ ВИД
ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

79

¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия, Москва, Россия

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Калининград, Россия

Поступила в редакцию 14.08.2025 г.

Принята к публикации 25.12.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5

Для цитирования: Полунина Ю. Ю., Никитина С. М., Гуцин А. В. Экспериментальная оценка влияния отдельных аспектов нереста балтийской сельди на модельный вид ветвистоусых ракообразных // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №2. С. 79–94. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5.

Проведены эксперименты по влиянию половых продуктов и воды, отобранных с места скопления нерестящейся балтийской сельди *Clupea harengus tembras* из Вислинского залива на выживаемость, рост, линьку, число яиц в выводковой камере и отрожденной молоди модельного вида планктонных ракообразных *Daphnia magna*. В первой серии экспериментов добавляли фиксированный объем суспензии половых продуктов самцов и самок салаки (гонады V стадии зрелости) в экспериментальные емкости и сравнивали с контролем. Во второй серии экспериментов дафний акклимировали к осолоненной воде (до 3 PSU), затем использовали их в контроле и эксперименте для оценки влияния воды с нерестилища салаки, отобранной в акватории залива. В средах с половыми продуктами салаки плодовитость дафний была значимо ниже контрольных величин. Рост дафний стимулировало добавление гонад самок (число линек в среднем 114%), а гонад самцов – угнетало (54%) относительно контроля (84%). Вода с нерестилища салаки не оказала существенного влияния на рост и частоту линек дафний, но достоверно стимулировала образование партеногенетических яиц в выводковой камере дафний (контроль 7.7, эксперимент 13, 0 яиц/самку/сутки). Выдвинута гипотеза, что половые продукты салаки, а также биологически активные соединения, попадающие в воды Вислинского залива при нересте, могут оказывать влияние на рост и плодовитость природных популяций ветвистоусых ракообразных.

Ключевые слова: нерест салаки, стероидные соединения, рост и плодовитость дафний, Вислинский залив



Введение

Одним из способов, с помощью которых гидробионты получают информацию об окружающей среде является химическая коммуникация, осуществляемая посредством гормонов, медиаторов, нейропептидов, феромонов и других биологически активных соединений. Химическая коммуникация может осуществляться между особями как одного вида, так и разных таксонов гидробионтов [1–6]. Первый этап коммуникации — хеморецепция — восприятие организмом обычно низких концентраций важных для его жизнедеятельности химических веществ. Установлено, что вода, содержащая кайромоны хищников, влияет на поведение, размеры особей, время достижения половозрелости, размер отрождаемой кладки, репродуктивные характеристики и запасание питательных веществ у рачкового зоопланктона [7–12]. Отдельные виды и группы беспозвоночных животных реагируют на экзогенные гормональные соединения позвоночных животных и человека [13–15], кроме того, изучены отдельные аспекты путей биосинтеза стероидов в тканях некоторых беспозвоночных животных [16–18].

В литературе приводятся единичные сведения о содержании стероидных соединений эстрагенной и андрогенной природы в среде обитания преднерестовых рыб, в водоемах при нересте рыб, и при размножении и выбросе половых продуктов беспозвоночных гидробионтов [19–25]. Идентифицированы и количественно определены отдельные стероидные гормоны в реках, а экотоксикологические эксперименты, проведенные в основном с рыбами, показали, что некоторые стероидные гормоны могут отрицательно влиять на их размножение [26–27]. Однако сведений о влиянии стероидных соединений эстрогенной и андрогенной структуры на беспозвоночных гидробионтов в природных водоемах практически нет. Ранее нами было выявлено воздействие некоторых экзогенных стероидных соединений на изменения темпов роста и плодовитость модельного вида ветвистоусых ракообразных *Daphnia magna* Str. в эксперименте. Эстрадиол ускорял рост и увеличивал плодовитость партеногенетических самок; тестостерон снижал число партеногенетических яиц; преднизолон снижал темпы роста особей, но почти не угнетал плодовитость [14; 28]. Полученные результаты позволили предположить, что природные популяции ветвистоусых ракообразных могут сходным образом реагировать на находящиеся в водоеме стероидные метаболиты позвоночных животных.

Нерест рыб может быть примером относительно одномоментного и массового появления в водоеме больших концентраций стероидных соединений. Мелководный Вислинский залив (средняя глубина 2,7 м) расположен в юго-восточной части Балтийского моря, представляет собой полузамкнутый солоноватоводный водоем, одно из основных нерестилищ балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* L. Массовый нерест салаки проходит в феврале–апреле при среднесуточной температуре воды в среднем 5,4 °С и солености 3,5 ‰ [29]. Численность и биомасса нерестового стада может достигать 130–412 млн экз. и 6–25,5 тыс. т, а абсолютная индивидуальная плодовитость самок салаки составлять до 58 тыс. икринок [29]. Во время нереста в воды залива



может поступать до 275,3 т половых продуктов, выделяемые нерестящимися особями [30]. Не все органическое вещество половых продуктов, поступивших в залив, используется непосредственно для воспроизводства рыбы. Часть органического вещества через пелагические или детритные пищевые цепи становится пищевым ресурсом для гидробионтов; часть накапливается в виде органической составляющей илов и впоследствии минерализуется. Сопутствующие нересту рыб биологические активные соединения стероидной и пептидной природы, попадающие в воду, могут стимулировать или подавлять развитие гидробионтов, в том числе зоопланктона. Однако эти аспекты влияния массового нереста салаки на экосистему залива до настоящего времени не исследованы.

Цель работы — экспериментально изучить влияние половых продуктов и воды, отобранной в нерестовом скоплении салаки *Cl. harengus tembras* из Вислинского залива на рост и размножение модельного вида ветвистоусых ракообразных *Daphnia magna*.

Материал и методы исследования

Экспериментальные работы проводили весной 2012 г. в аквариальной лаборатории Атлантического отделения института океанологии им. П. П. Ширшова (АО ИО РАН), где содержалась культура модельного вида ветвистоусых ракообразных *D. magna*. Монокультуру, полученную от одной самки, содержали в аквариуме объемом 50 л с предварительно подготовленной и постоянно аэрированной водопроводной водой. Кормление дафний производили суспензией хлебопекарных дрожжей или микроводорослью *Chlorella* spp. 2–3 раза в неделю. Температура воды в аквариуме составляла $21 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

Регистрируемые показатели в эксперименте.

1. Выживаемость особей. Рассчитывалась доля живых особей от общего числа (%) в экспериментальной емкости (далее — ЭЕ).

2. Темп роста дафний. Измеряли размер каждой особи в каждую съемку данных (мм).

3. Линьки (по числу сброшенных карапаксов). Рассчитывали долю отлинявших особей от общего числа (%), то есть 100 % означает, что число карапаксов равно числу особей в ЭЕ.

4. Число яиц у самок в выводковой камере (потенциальная плодовитость). У каждой самки подсчитывали число яиц в выводковой камере (экз./самка/сутки), затем рассчитывали среднее число яиц в каждой ЭЕ.

5. Число отрожденной молодежи (реальная плодовитость) — число молодежи (экз./самка/сутки) в ЭЕ. Молодь отсаживали, а в ЭЕ оставляли только экспериментальные особи.

Всех дафний измеряли и просматривали под микроскопом МБС-9 при увеличении в 56 раз.

Условия проведения экспериментов: использовали аэрированную отстоянную водопроводную воду, и воду, отобранную из залива и профильтрованную через газ с размером ячеек 100 мкм для очистки от взвеси.

Для контроля и экспериментов из аквариума с монокультуры дафний случайным образом отбирали молодежь (неполовозрелых особей) размером 0,4–0,5 мм. В предварительно подготовленные стеклянные



емкости, наполненные отстоянной водопроводной водой, объемом 0,5 л помещали по 10 особей. ЭЕ располагалась возле источника искусственного света. Ежедневно в них регистрировалась температура воды. Три раза в неделю происходило аэрирование воздухом экспериментальных емкостей, а также внесение корма: суспензии хлебопекарных дрожжей или микроводоросли *Chlorella* spp.

Всего в эксперименте участвовало 150 равноразмерных особей дафний (табл.).

Объем материала в эксперименте

82

| Экспериментальные среды | Экспериментальные емкости | Число дафний |
|--|---------------------------|--------------|
| Контрольная с пресной водой | 3 | 30 |
| Контрольная с осолоненной водой | 3 | 30 |
| С добавлением водной суспензии гонад самок салаки (♀) | 3 | 30 |
| С добавлением водной суспензии гонад самцов салаки (♂) | 3 | 30 |
| С водой из залива, отобранной во время взятия улова салаки из ставника при нересте | 3 | 30 |
| <i>Всего</i> | 15 | 150 |

Длительность экспериментов составляла 18–22 дня. Данные фиксировали через сутки. Эксперимент состоял из двух частей.

Эксперимент 1. С половыми продуктами салаки.

Из свежельвленной рыбы отбирали гонады текучих самцов и самок на V стадии зрелости половых продуктов. Затем готовили из них суспензию: по 1 г гонад самок (♀) или самцов (♂) растирали в ступке, помещали растертое содержимое в пробирку и разводили водой до 10 мл. Затем навески тщательно взбалтывали и добавляли по 2 мл полученной суспензии в экспериментальные емкости с дафниями.

Схема эксперимента:

- 1) контроль (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний);
- 2) эксперимент с гонадами ♀ (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний);
- 3) эксперимент с гонадами ♂ (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний).

Всего в этом эксперименте использовано 90 особей. Наблюдения проводили в течении 18 суток.

Эксперимент 2. С водой, отобранной при нересте салаки из Вислинского залива.

Дафнии заранее были акклимированы к солоноватой воде залива с соленостью до 3 PSU, поскольку этот вид способен обитать в водах с соленостью до 6 PSU. Вода из залива была отобрана до нереста салаки 06.03.2012 г. в районе поселка Прибрежный (54°39'14 с.ш. 20°21'06 в.д.). Соленость воды ~3 PSU, определяли STD-зондом Idranaut 320. Воду процеживали через капроновое сито с размером ячеек 100 мкм для удале-



ния взвеси и планктона, и в отдельный аквариум с этой водой помещали дафний из монокультуры. Выдерживали культуру дафний в осолоненной воде около трех недель. Затем молодь дафний из этой культуры использовали в контроле и в эксперименте с водой с места нерестилища салаки.

Вода в районе нерестилища салаки была отобрана 25–26.04.2012 г. на малом рыболовном боте рыболовецкого колхоза «За Родину» во время взятия улова салаки из ставняка в районе полуострова Бальга (54°34'20 с. ш. 20°04'50 в. д.). В процессе наблюдали нерест салаки на сетное полотно ставника и помутнение воды от большого количества молок и плавающую икру. Воду отбирали ведром у сетной стенки ставника, затем переливали в чистые пластиковые канистры и транспортировали в лабораторию. Соленость воды составляла ~3 PSU. Воду процеживали через сито с ячейей 100 мкм, затем туда помещали дафний.

Схема эксперимента:

- 1) контроль (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний в осолоненной воде);
- 2) эксперимент с водой из нерестилища салаки (три емкости, в каждой из которых по 10 особей дафний).

Наблюдения проводили в течение 22 дней.

Для статистического анализа данных рассчитывали средние показатели, ошибку среднего, применяли статистический метод ANOVA для определения статистически значимых отличий экспериментальных и контрольных групп в MS Office Excel 2010 и SPSS Statistics 23.0.

Результаты и обсуждение

Эксперимент 1.

Существенного изменения выживаемости дафний в среде с добавлением суспензии половых продуктов (далее – ПП) салаки относительно контроля не наблюдали. В контроле выживаемость в среднем составила $81 \pm 12\%$, в экспериментах с ПП самок выживаемость составила $68 \pm 19\%$, в экспериментах с ПП самцов – $61 \pm 28\%$. Значимых отличий между контролем и экспериментальными группами не выявлено ($F=0,88$ при $p=0,43$; F -критическое = 3,40)

Рост *D. magna* в контроле на протяжении 16 дней происходил равномерно (линейно). В эксперименте с ПП самок салаки со 2-х по 9-е сутки рост был интенсивнее, чем в контроле, а на 9-е сутки произошло снижение показателей роста, однако отличия не были достоверны. В эксперименте с ПП самцов рост был ниже контроля, на 4-е сутки он достиг контроля и роста дафний в эксперименте с гонадами самок. На 6-е сутки в эксперименте с ПП самцов произошло отставание в росте. За время эксперимента дафнии в среднем в контроле выросли на 0,84 мм, в эксперименте с ПП самок – на 0,53 мм, в эксперименте с ПП самцов – на 0,63 мм. Максимальный рост дафний наблюдался в контроле. В экспериментах с ПП рыбы рост дафний в среднем был ниже контрольных показателей, однако значимые отличия выявлены только в экспериментальной группе с ПП самцов в первые два дня и с 8-го по 16-й день (рис. 1).

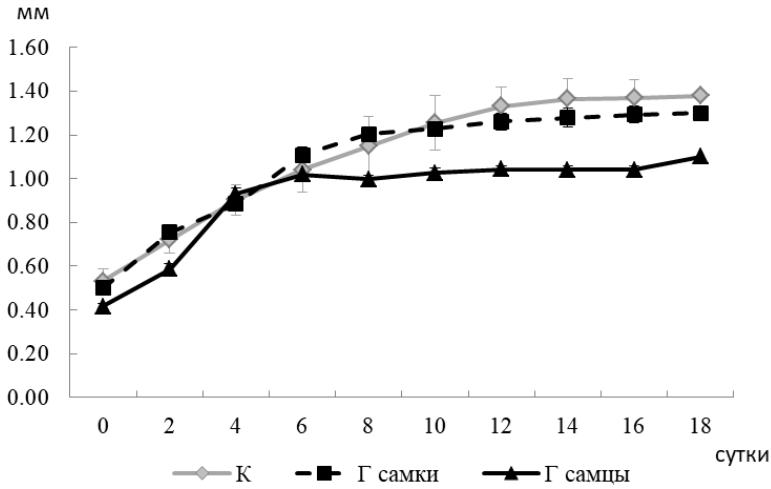


Рис. 1. Рост дафний в контроле и в экспериментах с половыми продуктами салаки: К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки

Рост дафний происходит посредством линек, число линек рассчитывали по числу сброшенных карапаксов. В контроле сброс карапаксов происходил последовательно и регулярно. В эксперименте с ПП самок сброс карапаксов происходил почти наравне с контролем со 2-е по 10-е сутки, после чего частота линек резко возрасла. В целом ПП самок стимулировали линьки, особенно в конце эксперимента. Число линек в экспериментах с ПП самцов было меньше по сравнению как с контролем, так и с экспериментом с икрой салаки, вплоть до отсутствия линек. Среднее количество линек дафний в контроле составило в среднем 83 %, в эксперименте с ПП самок — 114 %, в эксперименте с ПП самцов — 54 % (рис. 2). Выявлены значимые отличия числа линек в экспериментальных группах по сравнению с контролем ($F = 5,88$ при $p = 0,02$; F -критическое = 3,42).

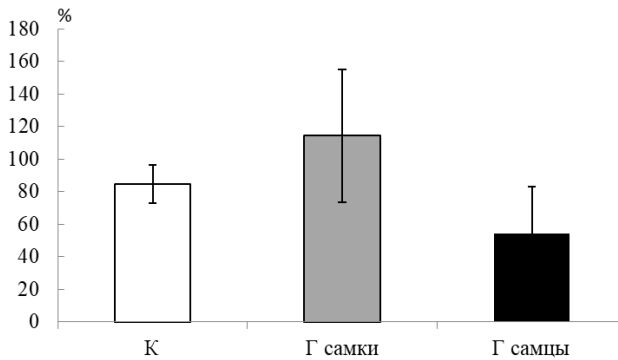


Рис. 2. Средний процент линек дафний в контроле и в эксперименте: К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки



Плодовитость дафний, включая потенциальную (число яиц в выводковой камере) и реальную (число отрожденной молодежи) в средах с ПП салаки была ниже контрольных показателей. Появление яиц у самок в контроле и в экспериментах с ПП самок начиналось на 4-е сутки: при росте, равном в контроле 0,90 мм, а в экспериментах с ПП самок — 0,88 мм. В экспериментах с ПП самцов появление яиц начиналось со 2-х суток при росте 0,59 мм. Максимальное число яиц в выводковой камере дафний отмечено в контроле, минимальное — в среде с добавлением ПП самцов (рис. 3). В экспериментах с ПП самок число яиц на самку было больше, чем в экспериментах с ПП самцов, но меньше, чем в контроле.

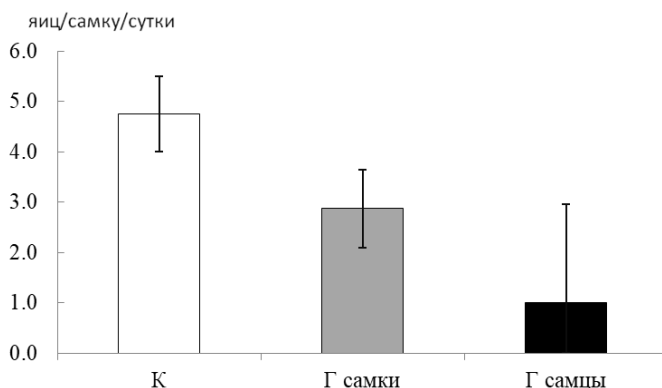


Рис. 3. Среднее число яиц в выводковой камере дафний в сутки:
 К — контроль; Г самки — эксперименты с ПП самок салаки;
 Г самцы — эксперименты с ПП самцов салаки

В среднем за весь период эксперимента в выводковой камере дафний в контроле было зарегистрировано 4,8 яиц/самку, в экспериментах с ПП самок — 2,9 яиц/самку, в экспериментах с ПП самцов — 1,0 яиц/самку. Отмечено значимое снижение числа яиц в экспериментах по сравнению с контролем ($F=4,28$ при $p=0,03$; F -критическое = 3,44).

Отрождение молодежи в контроле начиналось с 4-х суток. Большое число молодежи было отмечено на 16-е и 18-е сутки. Максимальное количество отрожденной молодежи в контроле было зарегистрировано на 18-е сутки и составило в среднем $6,3 \pm 0,7$ молодежи/самку. В экспериментах с добавлением ПП самок отрождение молодежи начиналось на 6-е сутки и было относительно высоким в период с 8-х по 12-е сутки, однако по сравнению с контролем различия были недостоверны. В экспериментах с ПП самцов отрождения молодежи не происходило (рис. 4).

В контроле было зарегистрировано в среднем 3,2 молодежи/самку/сутки, в экспериментах с ПП самки — 1,9 молодежи/самку/сутки, в эксперименте с ПП самцов отрождения молодежи не произошло. В эксперименте с ПП самок наблюдали уменьшение отрождения молодежи по сравнению с контролем на 1,3 молодежи/самку/сутки в среднем. Особенно существенное негативное воздействие на плодовитость партеногенетических дафний оказали ПП самцов, вплоть до полного отсутствия отрожденной молодежи (рис. 5).

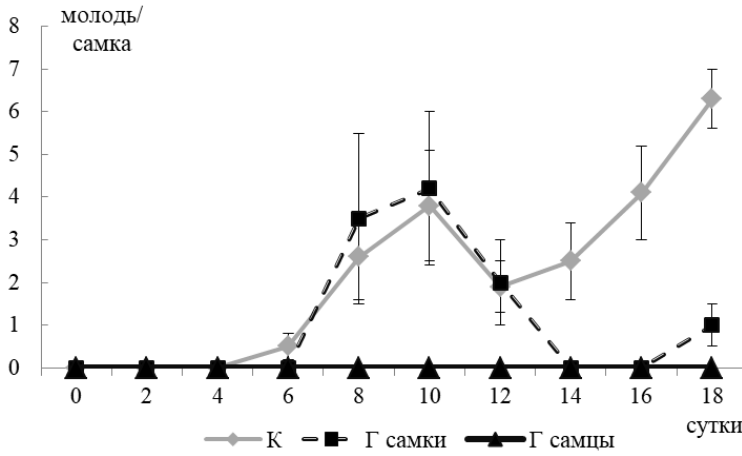


Рис. 4. Средняя реальная плодовитость дафний в контроле и эксперименте: К – контроль; Г самки – эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы – эксперименты с ПП самцов салаки

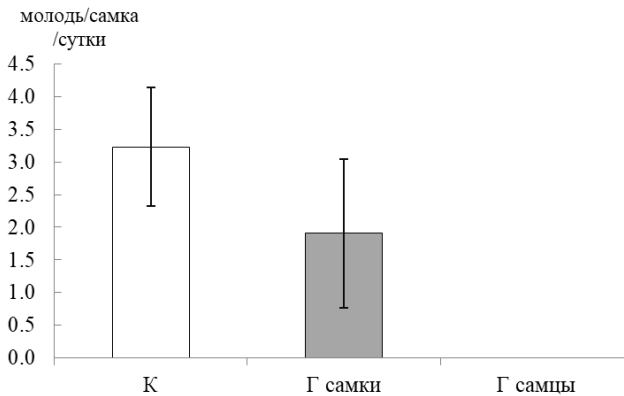


Рис. 5. Среднее число отрожденной молоди в контроле и эксперименте: К – контроль; Г самки – эксперименты с ПП самок салаки; Г самцы – эксперименты с ПП самцов салаки

Эксперимент 2.

Вода с места нереста салаки из Вислинского залива не оказала существенного влияния на выживаемость дафний. В контроле она составила 56 %, в воде с нерестилища салаки – 59 %. Было выявлено стимулирующее воздействие на рост дафний: рост рачков в эксперименте до 8-х суток был ниже контрольных показателей, после чего произошел резкий скачок роста дафний выше контрольных величин. За 22 дня эксперимента дафнии в контроле выросли на 0,84 мм, в воде с места нерестилища салаки – на 0,95 мм (рис. 6), то есть прирост составил 0,11 мм относительно показателя в контроле. Однако значимых отличий роста дафний в контроле и эксперименте не выявлено ($F=0,08$ при $p=0,77$; F -критическое = 4,3).

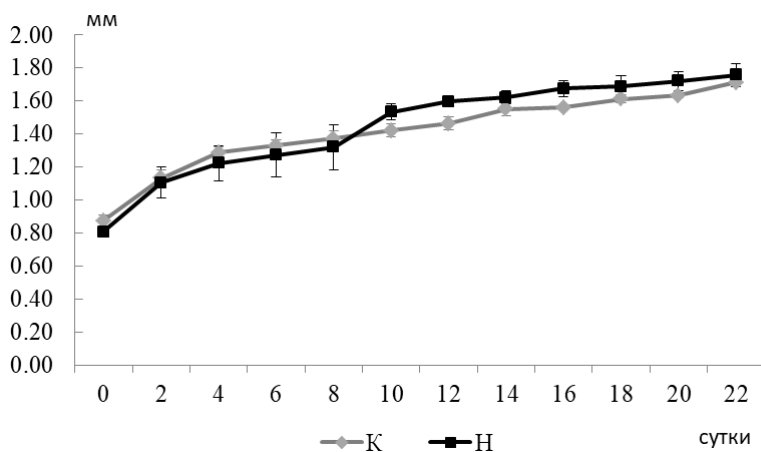


Рис. 6. Рост дафний в контроле и в воде с нерестилища салаки:

К – контроль; Н – вода с нерестилища

В контроле наблюдали значительные изменения частоты линек дафний. Были отмечены три пика сброса карапаксов: в 1-е, 16-е и 22-е сутки. Максимальный сброс карапаксов в контроле наблюдали на 16-й день, он составил 150 % за сутки (то есть за это время некоторые особи отлиняли дважды). В воде из места нереста салаки наблюдали два пика сброса карапаксов: на 2-е и 6-е сутки. Максимум линек (133 %) отмечен на 2-е сутки эксперимента. Среднее число линек дафний в контроле составило 90 %, в эксперименте – 74 %. Число линек в целом в эксперименте было несколько ниже контрольных показателей, но значимых отличий не выявлено.

Потенциальная плодовитость дафний (число яиц в выводковой камере) в воде из нерестилища салаки была выше контрольных величин почти в два раза. Появление яиц в контроле начиналось у самок на 2-е сутки при росте особей 1,13 мм, в эксперименте – на 1-е сутки при росте 0,81 мм. В нерестовой воде наблюдали большее количество яиц по сравнению с контролем. Максимальное их число в контроле было зарегистрировано на 18-е сутки (17,5 яиц/самку/сутки), в эксперименте – на 16-е сутки (25 яиц/самку/сутки). В выводковой камере в контроле было зарегистрировано в среднем 7,7 яиц/самку/сутки, а в воде с места скопления нерестовой салаки – 13 яиц/самку/сутки. В воде из нерестилища салаки по сравнению с контролем наблюдалось увеличение количества яиц в выводковой камере на 5,3 яйца/самку/сутки в среднем (рис 7, а). Выявлены значимые отличия этого показателя в эксперименте и контроле ($F=4,38$ при $p=0,03$; F -критическое = 3,22).

Реальная плодовитость в контроле и в воде с места нереста было схожа и составила в среднем 6,5 молоди/самку/сутки. В контроле отрождение молоди начиналось с 4-х суток, и максимальное ее число было зарегистрировано на 20-е сутки, в среднем 14,5 молоди/самку. В экспериментальной группе отрождение молоди начиналось со 2-х суток, мак-



симальное число отмечено на 18-е сутки и составило 18 молоди/самку в среднем (рис. 7, б). Значимых отличий не выявлено ($F = 3,88$ при $p = 0,55$; F -критическое = 4,5).

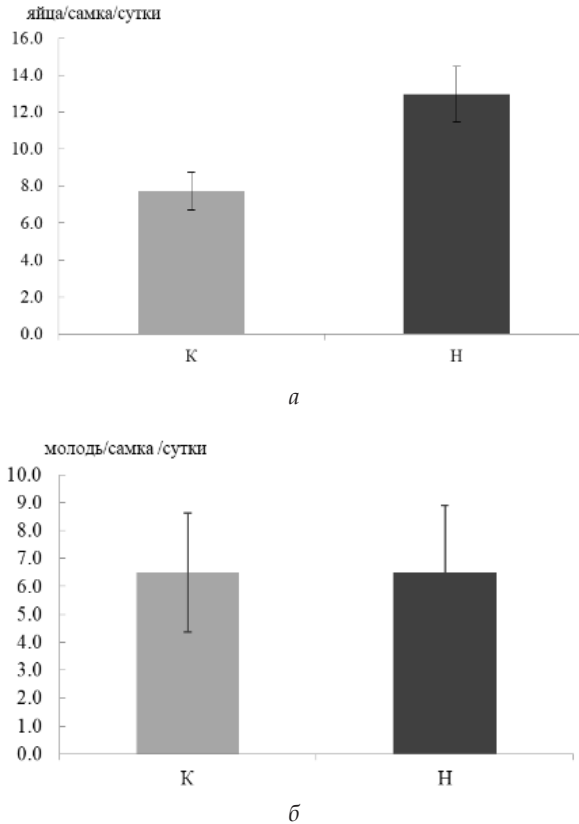


Рис. 7. Среднее число яиц в выводковой камере дафний (а) и отрожденной молоди (б) в сутки: К – контроль; Н – вода с нерестилища

В целом за всю продолжительность эксперимента (22 суток) в выводковых камерах дафний в контроле было зарегистрировано в среднем 88 яиц/самку, а отрожденной молоди – 65 молоди/самку. В воде из места нереста салаки отмечено 152 яйца/самку, а отрожденной молоди – 76 молоди/самку. Вода из места нереста салаки значительно стимулировала образование яиц в выводковой камере дафний (почти в 2 раза выше контрольных величин), но молоди отрождалось практически одинаковое количество как в эксперименте, так и в контроле. То есть в экспериментальной группе происходила резорбция яиц, явление, которое наблюдается у дафний при неблагоприятных условиях обитания.

Большинство показателей у дафний (рост, линьки, плодовитость) в средах с добавлением суспензии из гонад самок и самцов салаки были ниже контрольных величин. При этом, в экспериментах с ПП самцов показатели роста и плодовитости дафний были особенно угнетены. Известно, что андрогены у позвоночных могут вызывать частичную атро-



фию яичников, бесплодие, а в высоких концентрациях даже смертность самок [30]. Возможно, половые стероидные гормоны (преимущественно 11-кетотестостерон и тестостерон), вырабатываемые клетками Лейдига в семенниках рыбы, могут вызывать сходные явления у самок дафний.

Вода с нерестилища салаки не снижала выживаемость дафний, не оказала существенного влияния на их рост и частоту линек. В то же время отмечено стимулирующее влияние этой воды на образование яиц в яичнике партеногенетических дафний, при этом число отрожденной молодежи было сопоставимо с контрольными величинами, существенно прироста не отмечено — наблюдалась резорбция яиц. Такое явление ранее происходило в экспериментах на дафниях с влиянием экзогенных стероидных соединений: преднизолон и тестостерон достоверно вызывали резорбцию партеногенетических яиц [28]. В природной среде резорбция яиц у кладоцер может происходить при ухудшении среды обитания, нехватке питательных веществ, и, возможно, влиянии отдельных химических соединений.

В настоящее время предложены методики оценки количественного содержания стероидных соединений в сточных водах очистных сооружений и поверхностных водах; рассматриваются пути трансформации и способности к биологическому разложению этих стероидов при обработке активным илом; выявлены некоторые негативные последствия для гидробионтов, преимущественно рыб [27; 31; 32]. Исследования на беспозвоночных животных проводились фрагментарно, несмотря на то, что эта группа составляет почти 95 % известных видов животного мира и является чрезвычайно важными с точки зрения структуры и функционирования экосистемы. В литературе приводятся сведения о воздействии некоторых химических веществ, в том числе стероидной природы, на эндокринную систему беспозвоночных отдельных видов, а также промышленных соединений на морских животных [15; 33–36]. Практически не исследовано влияние на беспозвоночных гидробионтов природных массовых скоплений половых продуктов при нересте и сопутствующих им биологически активных соединений стероидной природы в водоемах.

В Вислинский залив на нерест, который длится два-три месяца, заходит по средним многолетним данным около 5493,1 т салаки в год, при этом в залив поступает от 43,4 до 125,9 т (в среднем 76,7 т) сухого органического вещества половых продуктов салаки [30]. Такое их количество, а также сопутствующие биологически активные вещества, поступающая в воды залива, могут оказывать влияние на гидробионтов. Ранее были идентифицированы некоторые стероидные соединения в экспериментальной среде обитания преднерестовых рыб эстрогенной и андрогенной природы: этиохоланолон, II-оксо-тестостерон, андростендион, 11-кетотестостерон, тестостерон [19–21]. В Вислинском заливе идентификация и количественное содержание стероидных соединений почти не проводились. Были получены предварительные результаты о наличии стероидных соединений (прогестерон, тестостерон и эстрадиол) в воде из нерестовых скоплений рыб методом тонкоструйной хроматографии, однако данные не опубликованы (устное сообщение Н. В. Чибисовой, БФУ им. И. Канта). Для развития этой тематики необ-



ходимо идентифицировать и количественно определить стероидные соединения, которые могут присутствовать в нерестовых скоплениях салаки в Вислинском заливе.

Представленная работа может стать точкой отсчета для дальнейшего изучения разных аспектов воздействия массового нереста рыб на беспозвоночных гидробионтов, в частности влияния биологически активных стероидных соединений, выделяемых в процессе нереста.

Выявленные изменения темпов роста и плодовитости дафний при воздействии отдельных экзогенных стероидных соединений [14; 15; 28], половых продуктов рыб, воды с места скопления нерестового стада рыб в эксперименте, а также наличие сходных по структуре стероидов в преднерестовых и нерестовых скоплениях рыб [19-21] позволяют нам выдвинуть гипотезу о возможном влиянии стероидных соединений, попадающих в водоем при массовом нересте рыб, на рост и плодовитость планктонных ракообразных. Вероятно, нерест рыб в полузамкнутых или замкнутых водоемах может быть одним из факторов регуляции численности и биомассы планктонных ракообразных, составляющих кормовую базу питания мальков.

90

Заключение

Выявлены изменения темпов роста и плодовитости модельного вида ветвистоусых ракообразных *D. magna* в связи с воздействием половых продуктов и воды с нерестового скопления салаки *Cl. harengus membras* из Вислинского залива. Значимых отличий на выживаемость дафний в экспериментах не выявлено. В средах с добавлением суспензии гонад салаки рост, линьки, плодовитость дафний были ниже контрольных величин. При этом в экспериментах с ПП самцов салаки показатели роста и плодовитости дафний были особенно угнетены, вплоть до полного отсутствия размножения. Вода с нерестилища салаки не оказала существенного влияния на рост дафний и частоту линек, но достоверно стимулировала образование яиц партеногенетических дафний. Однако число отрожденной молодежи было сопоставимо с контрольными величинами, что, вероятно, обусловлено резорбцией яиц. На основании полученных экспериментальных и литературных данных выдвинута гипотеза, что половые продукты салаки, а также биологически активные соединения, попадающие в воды Вислинского залива при нересте, могут оказывать влияние на рост и плодовитость природных популяций ветвистоусых ракообразных.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема FMWE-2024-0025).

Список литературы

1. Зеликман Э.А. Нетрофические регуляторные взаимоотношения у морских беспозвоночных // Биология океана. Т. 2 : Биологическая продуктивность океана / отв. ред. М.Е. Виноградов. М., 1977. С. 23 – 33.



2. Кулаковский Э. Е. Адаптация как проявление информационных связей в живых системах // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2000. №36 (4). С. 362–366.
3. Larsson P., Dodson S. Invited Review Chemical communication in planctonic // Arch. Hydrobiol. 1993. №2. P. 129–155.
4. Задерев Е. С. Химические взаимодействия среди планктонных ракообразных // Журнал общей биологии. 2002. Т. 63, №2. С. 159–167.
5. Helgenn J. C. Feeding rate inhibition in crowded *Daphnia pulex* // Hydrobiologia. 1987. №154. P. 113–119.
6. Задерев Е. С., Губанов В. Г. Влияние плотности популяции *Moina macroscopa* (Cladocera) и пищевой обеспеченности на смену способа размножения у *M. macroscopa* // Экология. 1995. №6. С. 412–414.
7. Арбачаускас К., Мажейка В., Палайма А. Влияние метаболитов караса (*Carassius carassicus*) на характеристики жизненного цикла *Daphnia pulex* // Проблемы гидроэкологии на рубеже веков : тез. докладов междунар. конф. 2000. С. 12–13.
8. Dodson S.I. The ecological role of chemical stimuli for the zooplankton: Predator-induced morphology in *Daphnia* // Oecologia. 1989. №78. P. 361–367. doi: 10.1007/BF00379110.
9. Larsson P. Intraspecific variability in response to stimuli for male and ephippial formation in *Daphnia pulex* // Hydrobiologia. 1991. Vol. 225. P. 281–300.
10. Loose C.J., Von Elert E., Dawidowicz P. Chemically-induced diel vertical migration in *Daphnia*: a new bioassay for kairomones exuded by fish // Archiv. Hydrobiol. 1993. Vol. 126. P. 329–337.
11. Slusarczyk M. Predator-induced diapause in *Daphnia* // Ecology. 1995. Vol. 76, №3. P. 1008–1013.
12. Blaustein L. Non-consumptive effects of larval *Salamandra* on crustacean prey: can eggs detach predators? // Oecologia. 1997. №110. P. 212–217.
13. Никитина С. М. Реакция свободноживущих гидробионтов на биологически активные вещества естественного и антропогенного происхождения // Вестник БФУ им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2010. №7. С. 51–57.
14. Никитина С. М. Биологически активные стероидные соединения беспозвоночных животных. Калининград, 2019.
15. Никитина С. М., Полунина Ю. Ю. Комплекс стероидных гормонов у беспозвоночных гидробионтов // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, №4. С. 648–660. doi: 10.31857/S0320965224040138.
16. Scott A.P. Is there any value in measuring vertebrate steroids in invertebrates? // Gen. and Comp. Endocrinol. 2018. Vol. 265. P. 77. doi: 10.1016/j.ygcen.2018.04.005
17. Fodor I., Urbán P., Scott A.P., Pirger Z.A. A critical evaluation of some of the recent so-called 'evidence' for the involvement of vertebrate-type sex steroids in the reproduction of mollusks // Mol. Cell. Endocrinol. 2020. Vol. 516. P. 110949. doi: 10.1016/j.mce.2020.110949.
18. Fodor I., Pirger Z. From dark to light-an overview of over 70 years of endocrine disruption research on marine mollusks // Frontiers in Endocrinol. 2022. Vol. 13. P. 903575. doi: 10.3389/fendo.2022.903575.
19. Belanger A.J. An electro-olfactogram investigation of the responses of female round gobies (*Neogobius melanostomus*) to conspecific odours and putative sex pheromones // MS Thesis. Windsor, 2003.



20. Arbuckle W.J., Belanger A.J., Corkum L.D. et al. In vitro biosynthesis of novel 5 β -reduced steroids by the testis of the round goby, *Neogobius melanostomus* // Gen. Comp. Endocrinol. 2005. Vol. 140. P. 1–13.
21. Corkum L.D., Meunier B., Moscicki M. et al. Behavioural responses of female round gobies (*Neogobius melanostomus*) to putative steroidal pheromones // Koninklijke Brill NV, Leiden. 2008. №145. P. 1347–1365.
22. Twan W.-H., Wu H.-F., Hwang J.-S. et al. Corals have already evolved the vertebrate type hormone system in the sexual reproduction // Fish Physiol. and Biochem. 2005. Vol. 31, №2-3. P. 111. doi: 10.1007/s10695-006-7591-1.
23. Twan W.-H., Hwang J.-S., Lee Y.-H. Hormones and reproduction in scleractinian corals // Comp. Biochem. and Physiol. Part A. Mol. and Integr. Physiol. 2006. Vol. 144. P. 247. doi: 10.1016/j.cbpa.2006.01.011.
24. Ketata I., Guermazi F., Rebai T. et al. Variation of steroid concentrations during the reproductive cycle of the clam *Ruditapes decussatus*: A one year study in the gulf of Gabès area // J. Comp. Biochem. 2007. Vol. 147. P. 424. doi: 10.1016/j.cbpa.2007.01.017.
25. Bing-hui Z., Li-hui A., Chang H. et al. Evidence for the presence of sex steroid hormones in Zhikong scallop, *Chlamys farreri* // J. Steroid Biochem. 2014. Vol. 143. P. 199. doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.03.002.
26. Ojogoro J.O., Scrimshaw M.D., Sumpter J.P. Steroid hormones in the aquatic environment // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 792. P. 148306. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148306.
27. Weizel A. Steroid hormones in the aquatic environment. Analysis, occurrence and fate of corticosteroids and progesterone. Universität Koblenz-Landau, 2021.
28. Полунина Ю.Ю., Никитина С.М. Влияние стероидных соединений на темпы роста и плодовитость ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*) // Вода: химия и экология. 2014, №6. С. 68–75.
29. Красовская Н.В. Особенности динамики численности салаки в Вислинском заливе // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря. Калининград, 1992. С. 121–150.
30. Гуцин А.В., Полунина Ю.Ю. Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки *Clupea harengus tembras*, поступающих в экосистему Вислинского залива при нересте // Гидрометеорология и экология. 2022. №67. С. 243–255. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-243-255.
31. Fent K. Progesterins as endocrine disrupters in aquatic ecosystems: Concentrations, effects and risk assessment // Environment International. 2015. Vol. 84. P. 115–130.
32. Kumar V., Johnson A.C., Trubiroha A. et al. The Challenge Presented by Progesterins in Ecotoxicological Research: A Critical Review // Environmental Science and Technology. 2015. Vol. 49 (5). P. 2625–2638.
33. DeFur P.I., Crane M., Ingersoll C., Tattersfield L. Endocrine disruption in invertebrates: endocrinology, testing, and assessment. Pensacola, 1999.
34. DeFur P. Use and role of invertebrate models in endocrine disruptor research and testing // ILAR. 2004. Vol. 45. P. 484–492.
35. Oehlmann J., Schulte-Oehlmann U. Endocrine disruption in invertebrates // Pure Appl Chem 2003. Vol. 75. P. 2207–2218.
36. Oetken M., Bachmann J., Schulte-Oehlmann U., Oehlmann J. Evidence for endocrine disruption in invertebrates // Int Rev Cytol. 2004. Vol. 236. P. 1–44.



Об авторах

Юлия Юрьевна Полунина — канд. биол. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

ORCID: 0000-0002-8157-9522

E-mail: jul_polunina@mail.ru

SPIN-код: 9215-9419

Светлана Михайловна Никитина — д-р биол., проф.-консультант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: swetmih@gmail.com

SPIN-код: 4413-6946

Алексей Витальевич Гуцин — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: iraimrop@mail.ru

SPIN-код: 7979-6800

Ju. Ju. Polunina^{1,2}, *†S. M. Nikitina*², *A. V. Gushchin*¹

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CERTAIN ASPECTS OF BALTIC HERRING SPAWNING ON THE MODEL SPECIES OF CLADOCERANS

¹ Institute of Oceanology P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences

² Immanuel Kant Baltic Federal University

Received 14 August 2025

Accepted 25 December 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5

To cite this article: Polunina Ju. Ju., Nikitina S. M., Gushchin A. V., 2026, Experimental assessment of the influence of certain aspects of baltic herring spawning on the model species of cladocerans, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 79 – 94. doi: 10.5922/vestniknat-2026-2-5.

*Experiments were conducted to investigate the influence of gametes and water collected from spawning aggregations of the Baltic herring *Clupea harengus membras* in the Vistula Lagoon on the survival, growth, molting frequency, number of eggs in the brood chamber, and offspring production of the model planktonic crustacean species *Daphnia magna*. In the first series of experiments, a fixed volume of a suspension of gametes from male and female Baltic herring (gonads at stage V of maturity) was added to the experimental containers and compared with the control. In the second series of experiments, daphnids were acclimated to brackish water (up to 3 PSU), after which they were used in the control and experimental groups to assess the effect of water collected from Baltic herring spawning grounds in the lagoon area. In media containing Baltic herring gametes, the fecundity of daphnids was significantly lower than the control values. The growth of daphnids was stimulated by the addition of female gonads (average molting frequency 114 %), whereas the addition of male gonads inhibited growth (54 % relative to the control (84 %)). Water collected from the Baltic herring spawning grounds did*



not exert a significant effect on the growth or molting frequency of daphnids, but it significantly stimulated the production of parthenogenetic eggs in the brood chamber of daphnids (control: 7.7; experiment: 13.0 eggs/female/day). A hypothesis is proposed that Baltic herring gametes, as well as biologically active compounds entering the waters of the Vistula Lagoon during spawning, may influence the growth and fecundity of natural populations of cladoceran crustaceans.

Keywords: herring spawning, steroid compounds, growth and fertility of Daphnia, Vistula Lagoon

The authors

94

Dr Yulia Yu. Polunina, Head of the Laboratory, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID: 0000-0002-8157-9522

E-mail: jul_polunina@mail.ru

SPIN-code: 9215-9419

Prof. Svetlana M. Nikitina, Professor-Consultant, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: swetmih@gmail.com

SPIN-code: 4413-6946

Dr Alexey V. Gushchin, Senior Researcher, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: iraimrop@mail.ru

SPIN-code: 7979-6800