

УДК 595.341(574.583)

## ПЕРВАЯ НАХОДКА *Acanthocyclops trajani* (Copepoda, Cyclopidae) В ВИСЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

© 2023 г. А. С. Семенова<sup>a, b, \*</sup>, И. М. Мирабдуллаев<sup>c</sup>, Н. Г. Шевелева<sup>d</sup>, В. Н. Подшивалина<sup>e, f</sup>

<sup>a</sup>Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия

<sup>b</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

<sup>c</sup>Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук академии наук Республики Узбекистан, Нукус, Узбекистан

<sup>d</sup>Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

<sup>e</sup>Государственный природный заповедник “Присурский”, Чебоксары, Россия

<sup>f</sup>Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

\*e-mail: a.s.semenowa@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2023 г.

После доработки 26.05.2023 г.

Принята к публикации 29.05.2023 г.

В 2021 г. в Вислинском заливе Балтийского моря впервые обнаружен новый для этого водоема вид *Acanthocyclops trajani* Mirabdullayev et Defaye, 2002. Вид быстро распространился по акватории водоема. В летний период он достигал максимального развития (до 92 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 2.4 г/м<sup>3</sup>), входил в число доминантов по численности и биомассе, особенно высокую долю формируя в наиболее загрязненной, опресненной и эвтрофированной восточной части Вислинского залива. Вследствие хищного питания *A. trajani* оказывал существенное влияние на планктонные сообщества залива, его рацион в августе превышал продукцию нехищного зоопланктона. Пресс на зоопланктон усиливался и вследствие массового развития *Cercopagis pengoi* Ostroumov, 1891), с которым новый вид вступал в конкурентные взаимоотношения. К основным причинам успешной натурализации *A. trajani* в Вислинском заливе, по-видимому, относятся особенности его биологии, структура планктонного сообщества при наличии незанятых трофических ниш, процесс эвтрофирования залива, ослабление прессы моллюска-вселенца *Rangia cuneata* (G.V. Sowerby, 1831), а также отмеченное в последние десятилетия локальное потепление климата.

**Ключевые слова:** *Acanthocyclops trajani*, зоопланктон, виды-вселенцы, Вислинский залив, Балтийское море

**DOI:** 10.31857/S0320965223050121, **EDN:** EOEGGP

### ВВЕДЕНИЕ

Вислинский залив – одна из самых крупных мелководных лагун в юго-восточной части Балтийского моря. Это высокопродуктивный водоем с переменной соленостью от 0 до 8‰, подверженный интенсивному антропогенному влиянию (Беренбейм, 1992). Уровень его продуктивности за последние 20 лет (величина первичной продукции 429–482 г С/(м<sup>2</sup> · год) соответствует гипер-

трофному уровню и не снижается, несмотря на ряд факторов (вселение моллюска-фильтратора *Rangia cuneata* (Sowerby, 1831), введение очистных сооружений), которые должны были способствовать этому в последнее десятилетие (Александров, 2010; Александров, Рудинская, 2022). Также на высоком уровне остается и концентрация биогенных элементов из-за их многолетней аккумуляции (Александров, Сташко, 2021). В непосредственной близости к заливу расположено четыре морских порта с высоким грузооборотом на протяжении всего года, что интенсифицирует процесс заноса и вселения новых видов. Процесс их натурализации происходит легко вследствие высокого трофического статуса водоема, так как обилие пищи и переменная соленость подходят для многих гидробионтов. В заливе отмечено большое число видов-вселенцев в бентосном и в

**Сокращения:** Fu – каудальные ветви (фурка); L – длина; Me – латеральная фуркальная щетинка; W – ширина; Sp – шип; Set – щетинка; P1–P5 – торакальные ноги 1–5; P4enp3 – третий членок эндоподита торакальной ноги 4; Td – дорсальная фуркальная щетинка; Te – внешняя апикальная фуркальная щетинка; Ti – внутренняя апикальная фуркальная щетинка; Tme – внешняя медиальная апикальная фуркальная щетинка; Tmi – внутренняя медиальная апикальная фуркальная щетинка.

планктонном сообществе (Науменко и др., 2014; Науменко, Телеш, 2019). Этому, помимо высокой продуктивности залива, способствует трофическая цепь из небольшого числа звеньев и обилие незаполненных ниш (Науменко, 2008). Для вселения теплолюбивых видов формируется много возможностей, в том числе вследствие локального потепления климата (Viitasalo, Bonsdorff, 2022). Согласно данным математического моделирования, рост температуры продолжится и в будущем (Meier et al., 2022). Таким образом, в Вислинском заливе постоянно поддерживаются благоприятные условия для вселения и натурализации новых видов.

В последние десятилетия в зоопланктоне Вислинского залива отмечены виды-вселенцы *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (впервые найден в 1999 г.) и *Moina micrura* Kurz, 1875 (в 2014 г.) (Семенова, Tchougounov, 2018; Науменко, Телеш, 2019). Однако процесс биоинвазий до настоящего времени не затрагивал Cyclopoida. Эта группа очень слабо представлена в Вислинском заливе из-за его переменной солености. По данным многолетних исследований представители Cyclopoida достигают <1% численности и биомассы Copepoda, среди которых преобладают эвригалитные Calanoida. Про инвазии Cyclopoida очень мало сведений, хотя вследствие хищного типа питания они могут существенно влиять на водные экосистемы. Кроме того, Cyclopoida весьма устойчивы к перепадам температуры и отсутствию кислорода. Отдельные виды Cyclopoida массово развиваются в условиях переменной солености, но до недавнего времени почти не рассматривались как виды-вселенцы (Anufrieva et al., 2014). По инвазивным видам Cyclopoida отсутствуют сведения в сводках и в Европе (Nentwig, 2009), и в России (Самые опасные..., 2018).

В июле 2021 г. в зоопланктоне Вислинского залива отмечен новый для этого водоема вид *Acanthocyclops* группы *robustus*. До этого в Вислинском заливе из рода *Acanthocyclops* регистрировали лишь *A. vernalis* (Fischer, 1853), впервые обнаруженного >30 лет назад (Науменко, 2010; Науменко, Судник, 2016), но лишь единично, и никогда не достигавшего значимого развития.

Цель работы – исследовать новый для водоема вид Cyclopoida на начальном этапе его вселения, дать характеристику его морфологическим признакам, предварительно оценить возможные последствия его появления для экосистемы Вислинского залива.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования зоопланктона российской части Вислинского залива проводили в 2008–2021 гг. Пробы отбирали ежемесячно с марта–ап-

реля по октябрь–декабрь на пяти–девяти стандартных мониторинговых станциях Атлантического филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (рис. 1). В силу принятой нумерации сетки станций их не перенумеровывали: ст. 1 (54°40'50 с.ш., 20°20'00 в.д.), ст. 2 (54°39'20 с.ш., 20°13'30 в.д.), ст. 3 (54°37'60 с.ш., 20°07'20 в.д.), ст. 4 (54°40'80 с.ш., 20°01'75 в.д.), ст. 5 (54°34'80 с.ш., 20°04'30 в.д.), ст. 6 (54°34'40 с.ш., 19°54'80 в.д.), ст. 7 (54°31'50 с.ш., 19°51'70 в.д.), ст. 9 (54°36'88 с.ш., 19°55'52 в.д.) и ст. 10 (54°37'50 с.ш., 20°01'50 в.д.). Акваторию Вислинского залива в пределах РФ условно подразделяли на четыре района: В – восточный район (ст. 1–3), Пм – Приморская бухта (ст. 4), Пб – прибалтийский район (ст. 5, 9 и 10), Ц – центральный район (ст. 6 и 7). Пробы зоопланктона отбирали пяти-, шестилитровым батометром в поверхностном, среднем и придонном слоях и концентрировали через мельничный газ № 70 (размер ячеи 68 мкм).

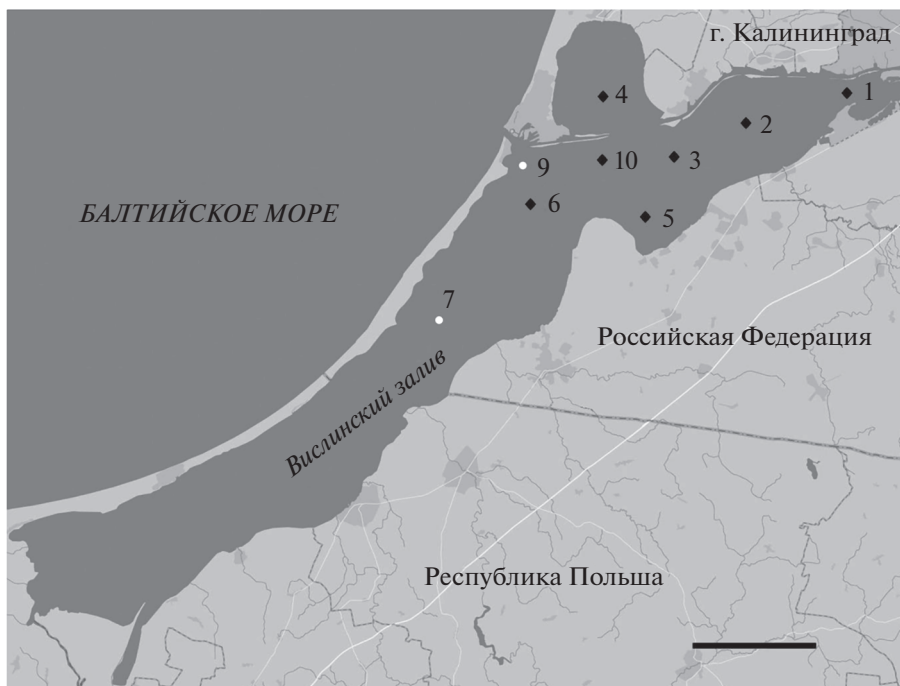
В 2021 г. материал собирали 8 и 20 апреля, 17 мая, 21 июня, 12 июля, 9 августа и 9 ноября на всех девяти станциях Вислинского залива; 6 декабря – на восьми станциях. Одновременно с отбором проб зоопланктона с помощью многопараметрического зонда AquaRead AP-2000 измеряли соленость, температуру и pH воды.

После отбора пробы зоопланктона прижизненно окрашивали 7.5%-ным раствором анилинового голубого красителя для выявления доли мертвых особей в зоопланктоне (Seepersad, Crippen, 1978; Дубовская, 2008; Bickel et al., 2008; Семенова, 2010а). После окрашивания пробы промывали и фиксировали 40%-ным формалином с сахарозой (Haney, Hall, 1973) до конечной концентрации в пробе 2–4%. Обработку и анализ проб проводили по стандартной методике<sup>1</sup> с помощью стереомикроскопа Nikon SMZ800N и бинокулярного микроскопа Микмед-5 (ЛОМО).

Рацион рассчитывали как сумму продукции, трат на обмен и неусвоенной пищи для каждой размерной группы или стадии развития. Принимали, что усвояемость пищи для растительного зоопланктона достигает 60%, для хищного – 80%. Половина рациона всеядных видов копепод на стадиях IV–VI удовлетворяется за счет растительной пищи, а другая часть – за счет животной. Рацион науплиусов и копеподитов I–III стадий состоял только из растительной пищи (Монаков, 1998). При расчете<sup>2</sup> продукции принимали  $K_2$  для Rotifera 0.45, для Cladocera 0.35, для Copepoda 0.25

<sup>1</sup> Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М.: Наука.

<sup>2</sup> Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. 1984. Л.: ГосНИОРХ.



**Рис. 1.** Карта-схема расположения станций отбора проб в российской части Вислинского залива Балтийского моря. Цифрами обозначены станции отбора проб. Черный ромб – станции, на которых обнаружен *Acanthocyclops trajani*, белые кружки – станции, на которых вид не отмечен. Масштаб – 10 км.

(Иванова, 1985). При расчете трат на обмен использовали оксикалорийный коэффициент, равный 4.86 кал/млО.

Для последующих морфометрических измерений и установления видовой принадлежности материал фиксировали 4%-ным формалином для световой микроскопии или 96%-ным спиртом для работы на СЭМ. Использовали оптический микроскоп Olympus CX 41 и сканирующий физико-химического ультрамикрoанализа Лимнологического института СО РАН. Измерение циклопов электронный микроскоп QUANTA 200 на базе Приборного центра коллективного пользования проводили по схеме, предложенной Козминским (Kozminski, 1936). Обозначение щетинок дано по (Dussart, 1969). Размер особи измеряли от конца рострума до конца каудальных ветвей (*L*).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Описание нового для водоема вида рода *Acanthocyclops*** (рис. 2). Самка. Длина тела 1200–1375 мкм (табл. 1). Генитальный двойной сегмент широко закругленный в передней части (рис. 2д). Анальный сегмент несет более крупные шипики на вентральной стороне дистального края (рис. 2г). Фуркальные ветви параллельные, их поверхность покрыта мельчайшими шипиками, едва ли видимыми в световой микроскоп (рис. 2в). Фуркальный индекс – 4.25–5.00 (табл. 1). Основания *Me*

без шипиков. Основания *Te* с шипиками. Опушение фуркальных щетинок гомономное. Соотношения длин фуркальных щетинок и фурки приведены в табл. 1.

Антеннулы сравнительно короткие, достигающие заднего края первого торакального сегмента, 17-членистые. Вооружение антеннул щетинками (посегментно): 8, 4, 2, 6, 4, 1+шипик, 2, 1, 1, 0, 1, 1+эстетаск, 0, 1, 2, 2+эстетаск, 7+эстетаск. Первый сегмент с рядом маленьких шипиков.

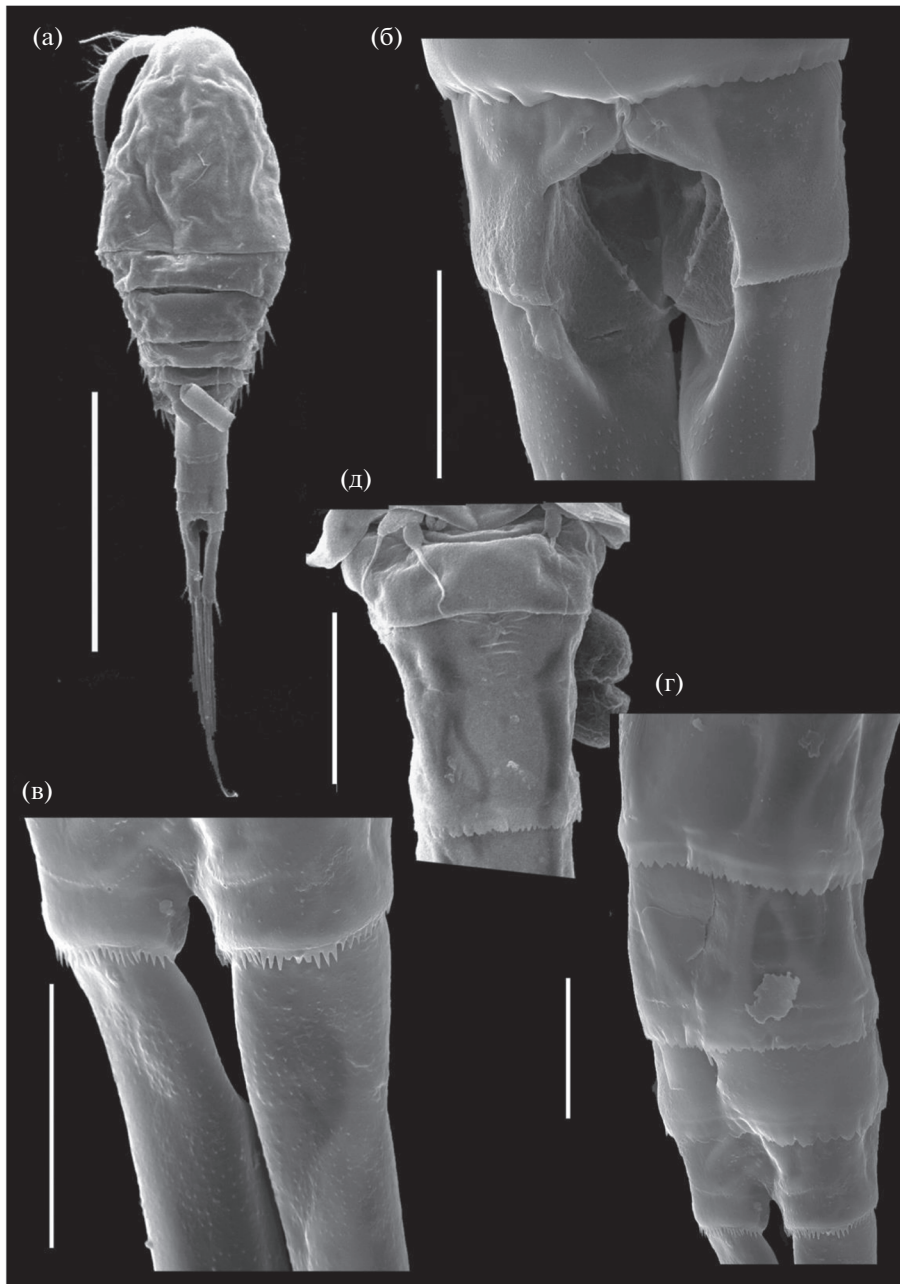
Антенны. Шипики продольного ряда каудальной поверхности базиподита сравнительно толстые и расположены почти под прямым углом к продольной оси членика (рис. 3б). Основание наружной дистальной щетинки базиподита голое, без шипиков. Третий сегмент антенны несет девять щетинок.

Мандибула. Три двувершинных зубца перемежающихся с тремя более тонкими и короткими одновершинными зубцами. Самая нижняя щетинка гребневидная. На внутренней стороне мандибулы около зубцов ряд из пяти тонких шипиков (рис. 3а).

Максилула. Как на рис. 3д.

Максилла состоит из прекоксоподита, коксopодита, базиподита, и двучленистого эндоподита (рис. 3г).

Максиллипед состоит из синкоксy, базиподита и двучленистого эндоподита (рис. 3в).



**Рис. 2.** *Acanthocyclops trajani* из Вислинского залива Балтийского моря, самка: а — общий вид, дорсально; б — анальная пластинка, дорсально; в — каудальные ветви, вентрально; г — анальные сегменты, вентрально; д — генитальный двойной сегмент, вентрально. Масштаб: а — 500 мкм, б — 40 мкм; в, г — 50 мкм, д — 100 мкм.

Плавательные ноги P1–P4. Формула шипов экзоподитов 3.4.4.4. Внутренние края базиподитов опушены. Интеркоксальная пластинка P1 и P2 голая (рис. 4а); интеркоксальная пластинка P3 и P4 с поперечным рядом шипиков на каудальной поверхности (рис. 4б, 4г). Вооружение коксы P4 как на рисунке (рис. 4д).

Внешняя боковая щетинка P4end3 расположена на 58–64% длины членика (рис. 4в; табл. 1), что более соответствует характеристикам *A. trajani*

(55–66%), чем *A. robustus* (60–71%) (Mirabdullayev, Defaye, 2002), и тем более *A. einslei* (73–82%) (Mirabdullayev, Defaye, 2004).

P5 типичного для рода строения, состоит из двух члеников, базальный членик с одной длинной щетинкой, свободный членик с одной длинной апикальной щетинкой и одним внутренним субапикальным шипом, в основании шипа расположены два шипика (рис. 4е).

**Таблица 1.** Морфометрические показатели самок *Acanthocyclops trajani* по данным из разных местонахождений

Параметр	I (n = 10)		II (n = 89)		III (n = 53)		IV (n = 22)	
	$M \pm m$	min–max	$M \pm m$	min–max	$M$	min–max	$M$	min–max
L тела, мкм	1161	1025–1250	1314	1025–1600	1428	1125–1850	1215	1200–1230
Fu L : W	4.57 ± 0.07	4.25–5.00	4.85 ± 0.45	3.68–5.61	4.95	4.32–5.80	5.0	4.0–5.5
Ti : Fu	1.00 ± 0.04	0.70–1.12	0.93 ± 0.11	0.61–1.14	0.93	0.81–1.04	0.98	–
Ti : Tmi	0.25 ± 0.01	0.17–0.33	0.25 ± 0.02	0.19–0.30	0.26	0.23–0.29	0.26	–
Ti : Tme	0.37 ± 0.01	0.28–0.47	0.36 ± 0.03	0.26–0.42	0.38	0.34–0.42	0.39	–
P4end3:								
L : W	2.88 ± 0.09	2.60–3.45	2.72 ± 0.29	2.28–3.60	2.61	2.25–3.10	2.64	–
Inn. sp. : L	0.90 ± 0.02	0.81–1.00	0.87 ± 0.07	0.67–1.09	0.85	0.77–0.96	0.85	–
Inn. sp.: ex. sp.	1.28 ± 0.06	1.17–1.75	1.18 ± 0.09	1.00–1.50	1.14	1.04–1.29	1.16	–
Ex. set. position	0.61	0.58–0.64	–	–	0.60	0.55–0.66	0.61*	0.57–0.65*

Примечание. Местонахождения: I – Вислинский залив (по данным авторов); II – Чехия, Испания, Греция, США по: (Blaha et al., 2010); III – Германия, Франция, Россия, Узбекистан, Казахстан, США по: (Mirabdullayev, Defaye, 2004); IV – Украина по: (Монченко, 1974). “–” – данные отсутствуют. Здесь и в табл. 2,  $M$  – среднее,  $m$  – ошибка среднего.

\* По измерениям на рисунках.

Самец. Длина тела 800–920 мкм, в среднем  $844 \pm 13$  мкм (табл. 1). Антеннула восьмичлениковая. Внутренняя сторона каудальных ветвей самца с волосовидными волосками. Плавательные ноги как у самки. Щетинка на апикальном членике P5 длиннее абдоминального сегмента. P6 самца с одним шипом, который немногим длиннее внутренней щетинки (31.4 и 30.3 мкм соответственно) и в 2.25 раза короче внешней щетинки (рис. 4ж).

Изучение морфологических признаков с использованием сканирующего микроскопа и анализ морфометрических параметров (табл. 1) указывают, что найденный в Вислинском заливе Балтийского моря *Acanthocyclops* идентичен виду *A. trajani* Mirabdullayev, Defaye, 2002. Хотя относительная длина щетинок на каудальных ветвях и фуркальный индекс считаются информативными признаками при видовой идентификации, в некоторых случаях они могут совпадать у разных видов. Например, отношения щетинок Ti : Te и Ti : Td у *A. trajani* и *A. einslei* (табл. 2), возможно, они зависят от географического нахождения, биотопа и прочих условий. По мнению (Mirabdullayev, Defaye, 2002), более консервативный показатель – положение внешней щетинки P4 end3 (табл. 1, 2).

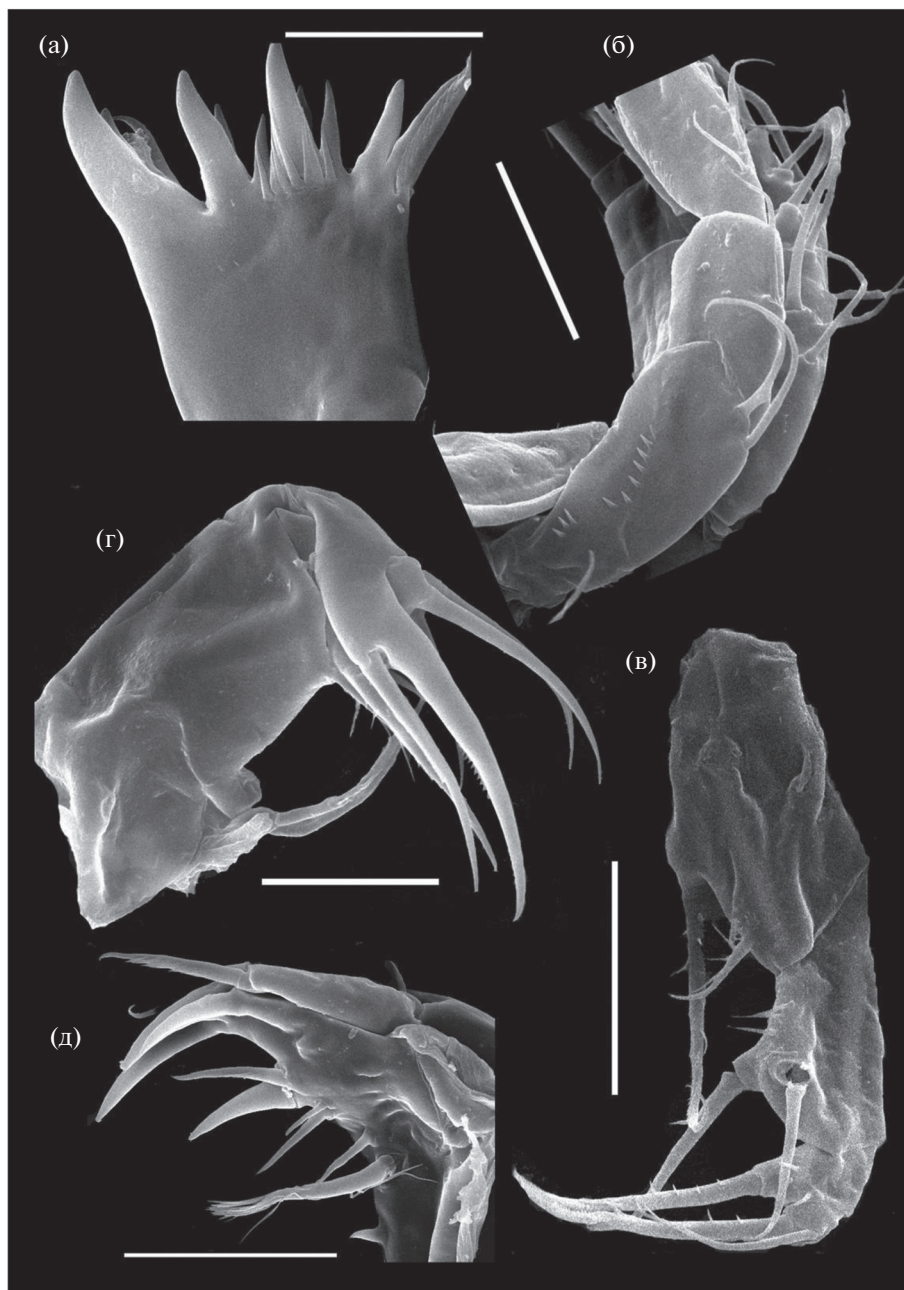
**Количественное развитие *Acanthocyclops trajani*.** Первые половозрелые особи нового для водоема вида *A. trajani* зарегистрированы в середине июля 2021 г. До этого в июне на ст. 1 была обнаружена молодь *Acanthocyclops* в небольшом количестве (2 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 22.5 мг/м<sup>3</sup>) и науплиусы Cyclopoidea (рис. 5). В июле 2021 г. новый для водоема вид был отмечен на четырех из девяти исследо-

ванных станций, наибольшей численности и биомассы достигая на более пресноводных из них – ст. 1 и 2 в восточной части водоема (табл. 3). На двух других более солоноватоводных ст. 3 и 5, расположенных ближе к проливу, количественные показатели вида были значительно ниже. На всех участках обнаружения *A. trajani* зарегистрирована высокая численность науплиусов Cyclopoidea (10.7–22.0 тыс. экз./м<sup>3</sup>) (рис. 5а).

В августе *A. trajani* был встречен уже на семи из девяти станций, его численность и биомасса увеличились по сравнению с июлем в 7–10 раз. Высокого развития вид достигал не только в восточной, но и в прибалтийской части залива, на менее солоноватоводных участках. Минимальное его развитие было в районе морского пролива на ст. 6, на которой также была отмечена максимальная соленость (табл. 3). На всех станциях (кроме ст. 6) зарегистрирована высокая численность науплиусов Cyclopoidea (18–48 тыс. экз./м<sup>3</sup>) (рис. 5а). В ноябре копеподиты *Acanthocyclops* были встречены в небольшом количестве на двух станциях в прибалтийском районе водоема (рис. 5). В декабре вид полностью выпадал из состава зоопланктона.

В среднем для всей акватории залива численность и биомасса *A. trajani* (без учета науплиусов) в июне составляли 0.2 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 3 мг/м<sup>3</sup>, в июле эти показатели резко возрастали в 22–30 раз до 4.8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 74 мг/м<sup>3</sup>, в августе еще более увеличивались в 7–10 раз до 36.0 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 752 мг/м<sup>3</sup>, в ноябре снижались в сотни раз до 0.1 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 2 мг/м<sup>3</sup>. В целом *A. trajani* достигал наибольшего количественного развития в восточном районе и на более пресноводных станци-



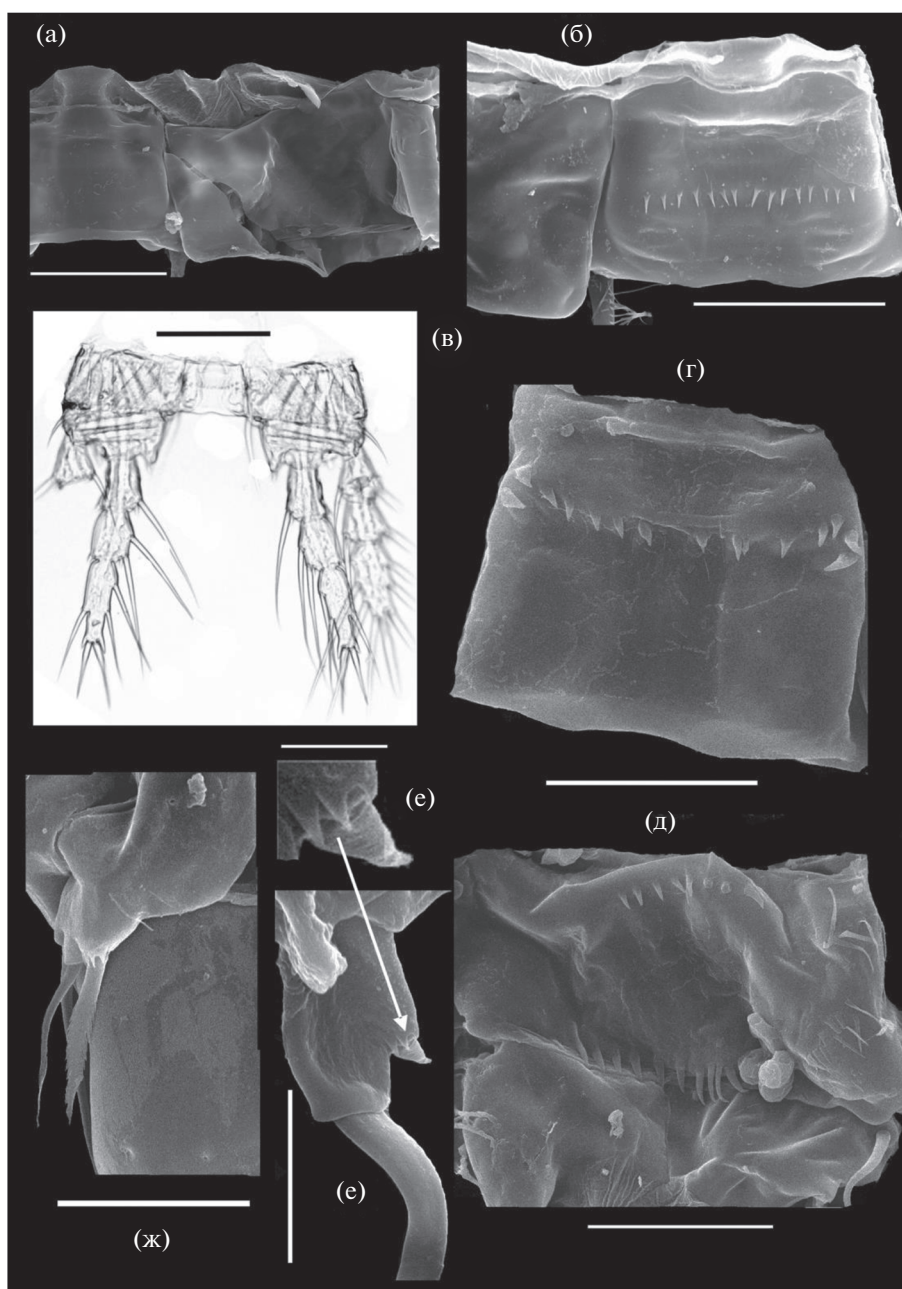


**Рис. 3.** Конечности ротового комплекса самки *Acanthocyclops trajani* из Вислинского залива Балтийского моря. а – режущий край мандибулы; б – А2 (каудально); в – максиллипед, фронтально; г – максилла; д – максиллула. Масштаб: а – 20 мкм; б–д – 50 мкм.

ях прибалтийского района. На участках с большей соленостью в центральном и прибалтийском районах его развитие было минимальным или он отсутствовал.

В момент наиболее массового развития в августе 2021 г. *A. trajani* формировал до 39.3% численности и 35.2% биомассы зоопланктона (рис. 5), и до 63.8 и 94.9% численности и биомассы Copepoda. Поскольку другие виды Cyclopoidea в период развития *A. trajani* были единичны, можно пред-

положить, что все встреченные науплиусы Cyclopoidea принадлежали этому виду. С учетом науплиусов Cyclopoidea, *A. trajani* формировал до 50.3% от численности зоопланктона и до 76.2% численности Copepoda. Наибольшая доля *A. trajani* в сообществах зоопланктона зарегистрирована в восточном районе Вислинского залива. В среднем для всех станций (в том числе, на которых вид не был встречен) *A. trajani* и его молодь в июне достигали 0.2 и 0.4% численности и биомассы зоо-



**Рис. 4.** Торакальные ноги *Acanthocyclops trajani* из Вислинского залива Балтийского моря: а – интеркоксальная пластинка и кокса P2, каудально; б – интеркоксальная пластинка и кокса P3, каудально; в – P4, каудально; г – интеркоксальная пластинка P4, каудально; д – кокса P4, каудально; е – P5 (стрелкой показаны два шипика в основании шипа); ж – P6, вентрально; а–е – самка, ж – самец. Масштаб: а – 50 мкм; б, в, д – 40 мкл; г, ж – 30 мкм, е – 2 мкм.

планктона, в июле – 1.4 и 2.5%, в августе – 18.1 и 14.4%, в ноябре – 0.1 и 0.2% соответственно.

Популяцию *A. trajani* в Вислинском заливе представляли науплиусы, копеподиты, самцы, неяйценозные и яйценозные самки. В июне и ноябре отмечены только науплиусы и копеподиты, в июле и августе в зоопланктоне залива присут-

ствовали все возрастные стадии, доля половозрелых особей от июля к августу возрастала (рис. 5). В июле самки, несущие яйцевые мешки, встречаются только на ст. 2, в августе – на всех станциях. Абсолютная плодовитость *A. trajani* в июле достигала 82 яйца на экземпляр, в августе изменялась от 68 до 93 яиц на экземпляр (в среднем – 79.6 яиц

**Таблица 2.** Морфометрические показатели самок видов комплекса *Acanthocyclops* gr. *robustus*

Параметр	<i>A. robustus</i> (n = 42)		<i>A. trajani</i> (n = 142)		<i>A. einslei</i> (n = 83)		<i>A. brevispinosus</i> (n = 10)
	<i>M</i>	min–max	<i>M</i>	min–max	<i>M</i>	min–max	min–max
<i>L</i> тела, мкм	1161	1025–1250	1314	1025–1600	1428	1125–1850	1200–1230
Fu <i>L</i> : <i>W</i>	4.54	4.00–5.45	4.87	3.7–5.8	5.13	4.10–6.40	5.20–6.85
Ti : Fu	0.68	0.55–0.79	0.93	0.61–1.14	0.78	0.56–0.98	0.39–0.48
Ti : Tmi	0.17	0.15–0.19	0.25	0.17–0.33	0.19	0.15–0.25	0.12–0.16
Ti : Tme	0.28	0.26–0.32	0.38	0.28–0.47	0.29	0.22–0.35	0.18–0.21
Ti : Te	1.44	1.24–1.68	1.77	1.40–2.20	1.68	1.34–2.25	0.94–1.32
Ti : Td	1.40	1.20–1.50	1.69	1.45–1.80	1.77	1.48–1.95	0.80–1.05
Соотношение длин апикальных set. Mxp	1.31	1.18–1.33	1.96	1.70–2.25	1.47	1.20–1.80	1.55–1.80
Р4енр3:							
<i>L</i> : <i>W</i>	2.33	2.05–2.67	2.66	2.25–3.60	2.28	2.00–2.60	2.20–2.50
Inn. sp. : <i>L</i>	0.81	0.71–0.93	0.85	0.67–1.09	0.73	0.62–0.82	0.76–0.95
Inn. sp.: ex. sp.	1.06	0.99–1.13	1.16	1.00–1.75	1.03	0.97–1.15	0.90–1.00
Ex. set. position	0.66	0.62–0.71	0.60	0.55–0.66	0.78	0.69–0.82	0.71–0.80

Примечание. Приведены современные данные по: (Mirabdullayev, Defaye, 2002, 2004; Bláha et al., 2010) и данным настоящего исследования.

**Таблица 3.** Показатели количественного развития *Acanthocyclops trjani* (без учета науплиусов) и параметры среды на станциях Вислинского залива летом 2021 г.

Показатель	12.07.2021 г.				09.08.2021 г.						
	В			Пб	В			Пм	Пб		Ц
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 5	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 10	ст. 6
<i>N</i> , тыс. экз./м <sup>3</sup>	22.3	14.5	6.4	0.3	88.1	92.3	37.9	27.5	66.7	11.5	0.3
<i>B</i> , мг/м <sup>3</sup>	331	271	62	3	1439	2362	833	521	1296	293	21
Абсолютная плодови- тость, яиц/экз.	–	82	–	–	85	77	93	72	79	83	68
<i>T</i> , °C	24.4	24.8	24.7	26.3	20.7	20.7	20.8	20.9	21.7	20.9	21.4
Соленость, ‰	2.12	3.17	3.98	3.69	2.94	3.59	4.22	4.84	4.02	4.37	5
pH	12.73	12.62	12.51	11.49	8.25	8.25	8.26	8.25	8.24	8.26	8.25

Примечание. В – восточный район, Пм – Приморская бухта, Пб – прибалтийский район, Ц – центральный район. *N* – численность; *T* – температура; *B* – биомасса. “–” отсутствие в пробах самок с яйцевыми мешками.

на экземпляре). Минимальная плодовитость в августе зарегистрирована на ст. 6, максимальная – на ст. 1, 3 и 10 (табл. 3).

В июне мертвые особи среди копепоидов *Acanthocyclops* не отмечены. В июле доля мертвых особей в популяции *A. trajani* (с учетом копепоидов) колебалась от 0 до 5.1% численности и от 0 до 3.8% биомассы, в среднем – 2.7 и 1.5% численности и биомассы соответственно. В августе выявлены более существенные колебания – 3.5–25.0 и 0.9–24.6% численности и биомассы, в среднем – 7.5 и 5.7% численности и биомассы соответствен-

но. На большинстве станций в августе доля мертвых особей *A. trajani* не превышала 4–5% численности и 2–3% биомассы. Исключением была ст. 6, где отмечены наибольшие величины этого показателя ~25%. В ноябре доля мертвых особей среди копепоидов *Acanthocyclops* была на высоком уровне – 28–33% численности и 44–58% биомассы.

Рацион *A. trajani* (с учетом копепоидов) в июле изменялся от 3 до 234 кал/м<sup>3</sup>, в среднем 116 кал/м<sup>3</sup>. В августе рацион значительно возрастал и колебался от 8 до 1154 кал/м<sup>3</sup>, в среднем –



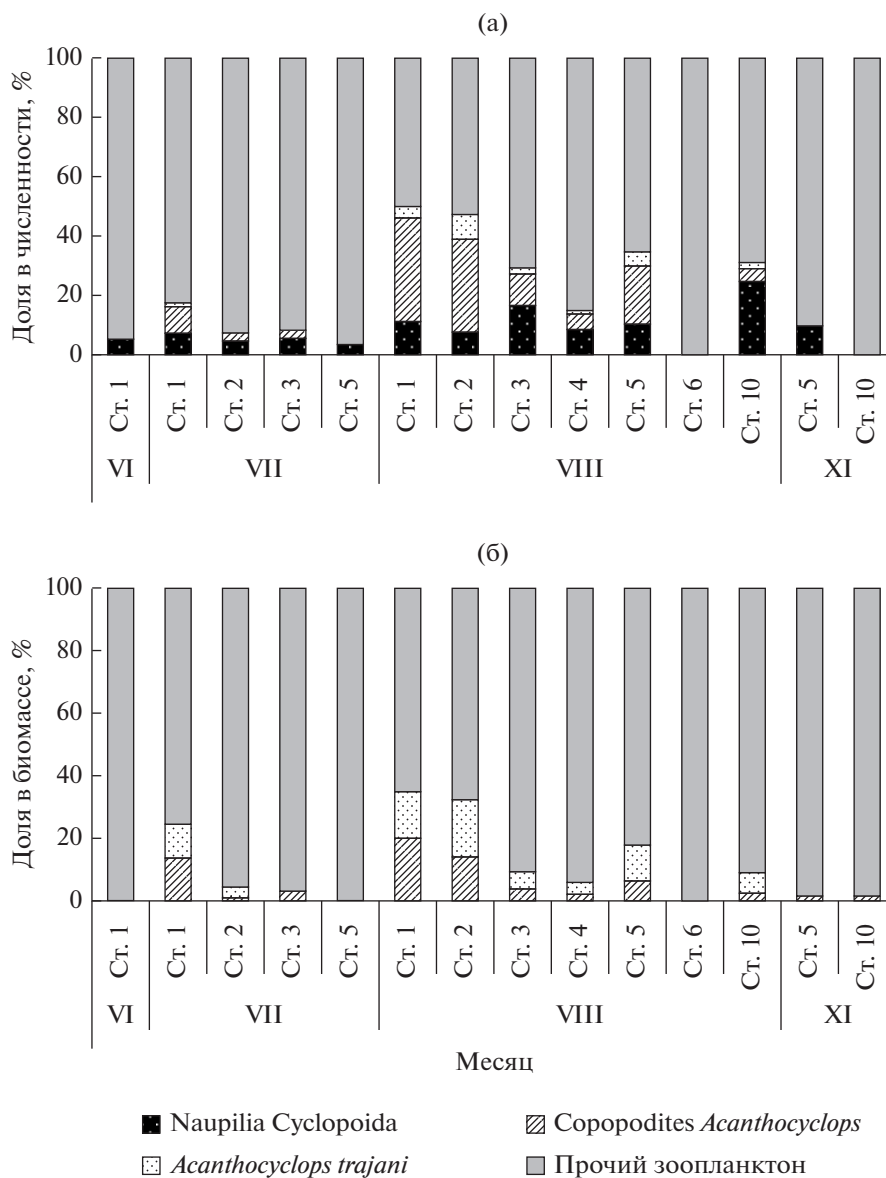
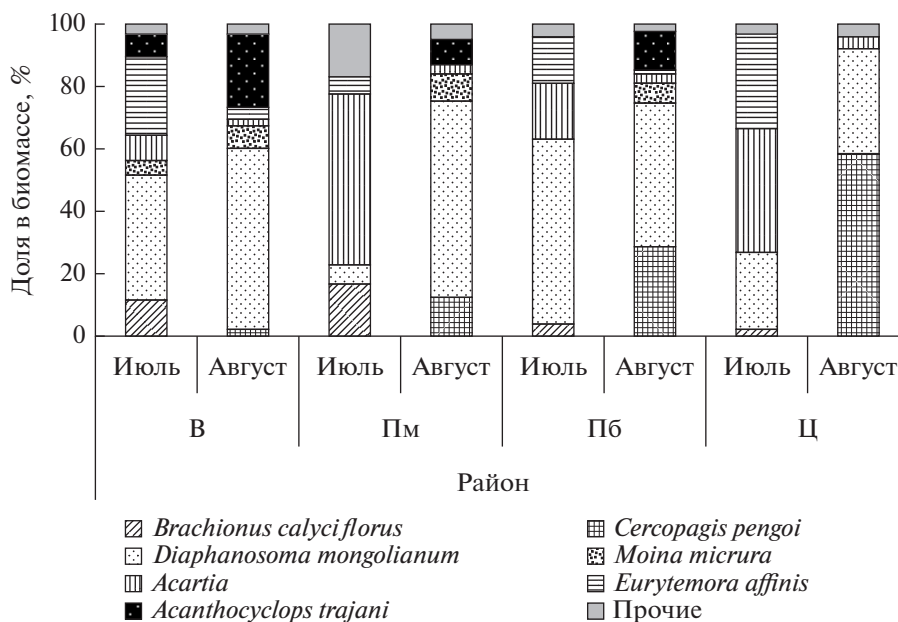


Рис. 5. Доля *Acanthocyclops trajani* и его ювенильных стадий в численности (а) и биомассе (б) зоопланктона Вислинского залива с июня по ноябрь 2021 г.

487 кал/м<sup>3</sup>. В июле рацион *A. trajani* превышал продукцию мирного зоопланктона в 1.4 раза только на ст. 1, на ст. 2 и 3 он достигал 24–26% продукции фильтраторов, на ст. 5 – <1%. В августе рацион *A. trajani* на ст. 1 и 2 превышал продукцию мирного зоопланктона в 2.7–2.8 раза, на ст. 5 и 10 – в 1.1–1.4 раза, на ст. 3 и 4 он составлял 55–77% продукции фильтраторов, на ст. 6 – ~10%. В целом для всего залива (с учетом тех станций, на которых вид не отмечен) рацион *A. trajani* в июле в среднем был 52 кал/м<sup>3</sup> – в > 6 раз ниже средней по заливу продукции мирного зоопланктона (333 кал/м<sup>3</sup>). В августе рацион *A. trajani* в среднем по всему водоему возрос до 379 кал/м<sup>3</sup> и в 1.7 раз

превышал среднюю продукцию нехищного зоопланктона (218 кал/м<sup>3</sup>).

Кроме *A. trajani*, в летний период 2021 г. в зоопланктоне Вислинского залива в массе развивались и другие недавние виды-вселенцы – *Moina micrura* Kurz, 1875 и *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891). *Moina micrura* отмечена в июле и августе. В наибольшей степени, как и *A. trajani*, она развивалась на станциях с меньшей соленостью в восточном и прибалтийском районах. В июле численность и биомасса *Moina micrura* в среднем по заливу достигали 6.9 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 60 мг/м<sup>3</sup>, в августе – 17.6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 338 мг/м<sup>3</sup> соответственно. *Cercopagis pengoi* регистрировали только



**Рис. 6.** Доля доминирующих видов в биомассе зоопланктона в разных районах Вислинского залива в июле–августе 2021 г. Районы и станции: В – восточный район (ст. 1–3), Пм – Приморская бухта (ст. 4), Пб – прибалтийский район (ст. 5, 9 и 10), Ц – центральный район (ст. 6 и 7).

в августе. Этот вид, напротив, был более массовым на станциях с большей соленостью в прибалтийском и центральном районах, а также в Приморской бухте. На наиболее пресноводных ст. 1 и 2 восточного района он отсутствовал. Биомасса *C. pengoi* колебалась от 0.4 до 2.7 г/м<sup>3</sup>, в среднем для водоема достигая 0.9 г/м<sup>3</sup>. Рацион *C. pengoi* изменялся от 55 до 336 кал/м<sup>3</sup>, в среднем – 123 кал/м<sup>3</sup>.

От июля к августу происходило изменение в соотношении доминирующих видов в различных районах Вислинского залива (рис. 6). По сравнению с июлем из состава доминантов в августе выпадали *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776, *Acartia* spp. и *Eurytemora affinis* (Pope, 1880), при этом их численность и биомасса в среднем по заливу снижались в 9–104 раза. По-видимому, именно на эти виды оказывался наибольший совместный пресс хищников (*Acanthocyclops trajani* и *Cercopagis pengoi*). Доля *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, 1938 и *Moina micrura*, напротив, возрастали во всех районах, кроме прибалтийского.

Все три недавних вида-вселенца достигали своего максимального развития в августе 2021 г., формируя ~40% биомассы зоопланктона залива. До 2021 г. отмечено два вида-вселенца, с 2021 г. – три. За весь период исследований (с 2008 по 2021 гг.) доля видов-вселенцев сильно варьировала – от 0 до 72% биомассы зоопланктона. Наиболее существенный вклад в биомассу зоопланктона инвазивные виды вносили в августе–начале сентября 2010, 2017, 2019 и 2021 гг. (рис. 7). Таким образом, в последние годы наблюдается тенденция не

только увеличения числа видов-вселенцев, но и возрастание их доли в сообществах зоопланктона Вислинского залива.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В 2021 г. в российской части Вислинского залива обнаружен новый для этого водоема вид из рода *Acanthocyclops* gr. *robustus*, который по всем морфологическим признакам и морфометрическим показателям соответствовал описанному в литературе виду *Acanthocyclops trajani* (Mirabdullayev, Defaye, 2002, 2004; Vlaha et al., 2010; Anufriieva et al., 2014). Благодаря подробным исследованиям на световом электронном микроскопе, для *A. trajani* впервые получены подробные фотографии всех его структур. Подтверждены все его таксономические признаки и выявлен ряд тонких признаков, плохо заметных или почти незаметных при исследованиях на световом микроскопе: например, поверхность фуркальных ветвей покрыта мельчайшими шипиками, а в базальной части внутреннего субапикального шипа P5 присутствуют два маленьких шипика.

Таксономия рода *Acanthocyclops* gr. *robustus* за последние десятилетия претерпела много изменений, из которых не все в достаточной мере научно обоснованы (Kiefer, 1976; Mirabdullayev, Defaye, 2002, 2004; Miracle et al., 2013; Anufriieva et al., 2014; Władzki, Rybak, 2016; Alekseev, 2021; Karpowicz et al., 2023). Дискуссии о видовой идентичности или различиях ряда близких видов из рода *Ac-*

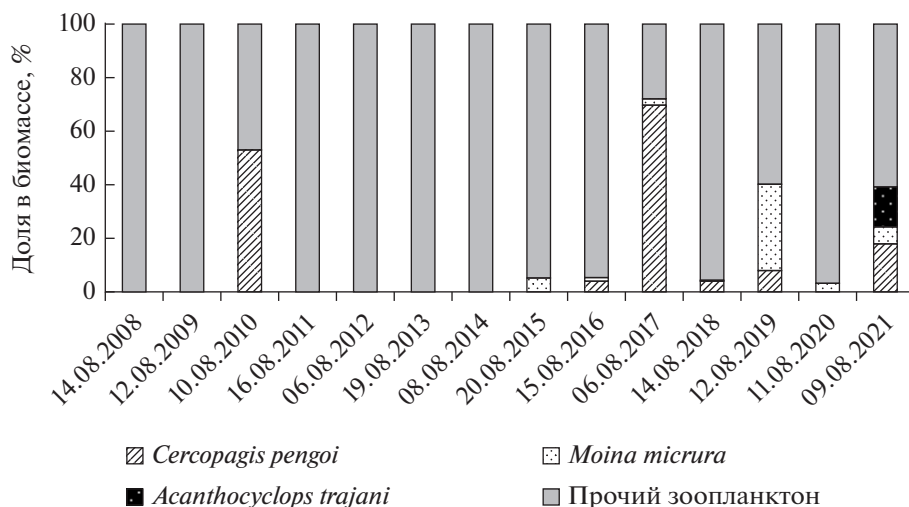


Рис. 7. Доля (%) видов-вселенцев в биомассе зоопланктона Вислинского залива в августе 2008–2016, 2018–2021 гг. и начале сентября 2017 г.

*anthocyclops* этой группы продолжают до настоящего времени, имеются мнения ведущих ученых по данной проблеме, которые, по сути, диаметрально противоположны (Miracle et al., 2013; Anufriieva et al., 2014; Alekseev, 2021; Karpowicz et al., 2023). В настоящее время без проведения дополнительных всесторонних исследований нельзя опровергнуть ни одну из точек зрения. Авторы склонны считать *A. trajani* валидным видом (Anufriieva et al., 2014) и независимо от таксономии, найденный ими в 2021 г. вид является новым для российской части Вислинского залива.

*Acanthocyclops trajani* встречается в Северной Африке (Алжире, Тунисе, Египте), Северной Америке (Канаде, США), на Ближнем Востоке (Ираке, Иране), в Средней Азии (Казахстане, Узбекистане), в Европе (Англии, Франции, Германии, Испании и др.) и России (Mirabdullayev, Defaye, 2002; Anufriieva et al., 2014; Schutt et al., 2021). Обычен в летнем планктоне разнообразных водоемов: озер, прудов, водохранилищ, эстуариев, рисовых чеков. Термофил. Хищный вид. Выдерживает широкий диапазон температур (10–30°C) и солености (0–80‰). Встречается в наиболее загрязненных и эвтрофированных водоемах с высоким содержанием биогенных элементов и массовым развитием фитопланктона, устойчив ко многим неблагоприятным факторам среды (Кгура, Aubakirova, 2021). Сведений о плодовитости мало, согласно В.И. Монченко (1974), она достигает 60–100 яиц на самку. Как возможный вид-вселенец указан для соленых озер Крыма и дельты р. Нил (Dumont, El Shabrawy, 2008; Anufriieva et al., 2014).

В наших исследованиях *A. trajani* отмечен в теплое время года при высоком прогреве воды (до 26°C). Дополнительными факторами, способ-

ствующими его массовому развитию, также могли быть высокое содержание фосфора и массовое развитие фитопланктона. По данным Росгидромет<sup>3</sup> аномально теплыми были весна и лето 2021 г., особенно сильные положительные температурные аномалии отмечены в Северо-Западном Федеральном округе в июне–июле, они были одними из первых в ряде долговременных наблюдений, в июне климатическая норма по температуре воздуха в целом в европейской части России была превышена на рекордную величину +3.59°C. Для температуры воды Вислинского залива также наблюдался многолетний положительный тренд: средняя за летний период температура с 70-х годов XX в. возросла на 2°C (Semenova, Tchougounov, 2018). В июле 2021 г. были зафиксированы максимальные концентрации фосфора (Сташко, Александров, 2023), которые были одними из самых высоких за последние 30 лет наблюдений. Максимальное содержание фосфора (293–301 мкг/л) наблюдалось в восточном районе и Приморской бухте, в прибалтийском районе оно снижалось (до 202 мкг/л) и минимальным было в центральном районе (170 мкг/л). Согласно наблюдениям *A. trajani*, достигает максимального количественного развития ( $44.8 \pm 17.9$  тыс. экз./м<sup>3</sup>) в водоемах с концентрациями фосфора 50–200 мкг/л (Кгура, Aubakirova, 2021), формируя высокую долю в численности зоопланктона. В летний период 2021 г. максимальное количественное развитие *A. trajani* отмечено в восточном районе Вислинского залива. Высокая температура и повышенное содержание биогенных элементов создали предпосылки для “цветения” воды Вислинского

<sup>3</sup> Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. 2022. М.: Росгидромет.

залива, в момент которого биомасса фитопланктона достигала самых высоких за 20-летний период наблюдений значений  $>104 \text{ г/м}^3$  (Дмитриева и др., 2022). Продукция фитопланктона летом также была максимальна за весь период наблюдений, начиная с 2001 г. В 2021 г. произошло значительное снижение биомассы (более чем в 2 раза) двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* (Sowerby, 1831), вселившегося в Вислинский залив в 2010 г. (Рудинская, Гусев, 2012; Александров, Рудинская 2022). Ослабление пресса моллюска *R. cuneata*, который в Вислинском заливе значительно снижает развитие фитопланктона (Kownacka et al., 2020), также дополнительно могло стимулировать массовое развитие фитопланктона.

В этих благоприятных для развития условиях *A. trajani* в июле–августе 2021 г. достигал высокого количественного развития (до 92 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 2.4 г/м<sup>3</sup>), входил в число доминантов по численности и биомассе, и формировал особенно высокую долю в зоопланктоне наиболее загрязненной и эвтрофированной восточной части Вислинского залива (Александров, 2010; Сташко, Александров, 2023). Плодовитость *A. trajani* была близка к максимальной, отмеченной для этого вида. По нашему мнению, при наблюдениях за видами-вселенцами крайне важно оценивать их состояние в водоеме. Для этого необходимо знать, какая доля популяции вида-вселенца находится в живом и активно размножающемся состоянии. У *A. trajani* в летний период 2021 г. были отмечены низкие показатели относительной смертности: доля мертвых особей на большинстве станций не превышала 4–5% общей численности и 2–3% общей биомассы. Это свидетельствует о наиболее благоприятном состоянии популяции *A. trajani* в этот период. Для сравнения можно привести данные по другому виду – вселенцу *Evadne anonyx* G.O. Sars, 1897, периодически с затоками вод попадающему в Вислинский залив (Demereckiene et al., 2016). По нашим многолетним наблюдениям этот вид в заливе не размножается и быстро погибает, доля мертвых особей в его популяции достигает 55–100%. Следовательно, его нельзя назвать видом-вселенцем для Вислинского залива, поскольку он на ее акватории образует псевдопопуляцию. В 2021 г. *Acanthocyclops trajani* сформировал в заливе устойчивую активно самопроизводящуюся популяцию. Плодовитость *A. trajani* снижалась, а доля мертвых особей повышалась лишь в менее продуктивной центральной зоне водоема, где отмечены высокая турбулентность и большие значения солености, а также минимальные количественные показатели вида.

*A. trajani* часто доминирует и достигает высокого обилия в разнотипных водных объектах Средней Азии, Северной Африки и других местонахождений (Dumont, El Shabrawy, 2008; Гина-

туллина, 2013; Anufriieva et al., 2014; Krupa et al., 2018, 2020; Абдиназаров и др., 2019; Annabi-Trabelsi et al., 2019; Krupa, Aubakirova, 2021). Часто отмечают совместное обитание этого вида с *Moina micrura*, которая попала в Вислинский залив раньше (Semenova, Tchougounov, 2018). Возможно, для *Acanthocyclops trajani*, как и для *Moina micrura* прослеживается “азиатский” вектор вселения, который также наблюдается, например, для инвазивного вида *Thermocyclops taihokuensis* (Nagada, 1931). Этот вид активно распространяется в европейской части России и дельте р. Волга (Жихарев и др., 2019; Лазарева, 2021; Лазарева, Жданова, 2022). *T. taihokuensis* часто встречается совместно с *Acanthocyclops trajani*, поэтому не исключено его попадание и успешная натурализация в Вислинском заливе. Еще одним видом, который мог попасть в Вислинский залив из Средней Азии, может быть *Diaphanosoma mongolianum*. Момент ее появления в водоеме точно зафиксировать невозможно из-за ошибок при ее идентификации (Семенова, 2010б). *D. mongolianum* отмечена как вид-вселенец для польской части Вислинского залива (Karpowicz et al., 2023). Все эти виды могли попасть в Вислинский залив и из Европы, но там они в меньшей степени распространены и редко развиваются в массе.

Можно предположить два пути попадания *A. trajani* в водоем: с перелетными птицами и с балластными водами судов. Расселение с перелетными птицами широко распространено для Cyclopoida (Anufriieva et al., 2014; Alekseev, 2021), над Калининградской обл. проходят маршруты многих перелетных птиц. Акватория Вислинского залива – место интенсивного судоходства. Недавние исследования подтвердили высокую выживаемость и обилие рода *Acanthocyclops* на протяжении длительного времени в балластных водах судов (Venkatnarayanan et al., 2022). Поэтому ни один из этих путей попадания в водоем нельзя исключать.

Кроме акватории Вислинского залива, *A. trajani* в летний и осенний периоды 2021 г. был отмечен нами в ряде других водоемов и водотоков Калининградской обл.: в верхнем течении р. Преголя, в Куршском заливе, Калининградском морском канале (КМК), а также в прибрежье Балтийского моря в зоне влияния стока из Вислинского залива. Однако ни в одном из перечисленных местобитаний, кроме КМК, по которому идет активное судоходство и который является частью Вислинского залива, этот вид не достигал высокого количественного обилия и не входил в состав доминирующих видов. По-видимому, только на акватории Вислинского залива для него сложились наиболее оптимальные для массового развития условия (температура, трофические условия, незанятые ниши в планктонном сообществе). Вид быстро распространился по акватории Вислин-

ского залива, в 2021 г. был отмечен в его польской части, где также достигал массового развития и стал доминирующим в районе с высокой антропогенной нагрузкой в месте постройки канала через Балтийскую косу (Karpowicz et al., 2023).

*A. trajani* в летний период 2021 г., особенно в августе, вместе с другими видами-вселенцами формировал значимую долю в зоопланктонных сообществах Вислинского залива и вместе с другим хищным видом *Cercopagis pengoi* создавал высокий пресс на нехищный зоопланктон залива. Рацион только *Acanthocyclops trajani* в 1.7 раз превышал продукцию нехищного зоопланктона, а совместно с *Cercopagis pengoi* — в 2.3 раза. Таким образом, в планктонном сообществе залива в августе 2021 г. складывались очень напряженные трофические взаимоотношения. Наибольший пресс эти два вида оказывали на коловраток и Calanoida. По-видимому, *Acanthocyclops trajani* помимо зоопланктона потреблял науплиусов и копеподитов своего вида, а также детрит, фитопланктон и простейших. *Cercopagis pengoi* также потреблял и *Acanthocyclops trajani* (Крылов, 1989; Монаков, 1998; Rahmati et al., 2020a). Эти два вида были разобщены в пространстве, в районе массового развития *Acanthocyclops trajani* отсутствовал *Cercopagis pengoi* и наоборот. Сходные данные при оценке трофических взаимоотношений получены при изучении гипертрофного Цимлянского водохранилища, в котором также был очень высок пресс хищных Cyclozoidea, представленных вселенцами. Рацион хищного зоопланктона в этом водоеме в 1.6–2.8 раза превышал продукцию мирного зоопланктона, а уровень каннибализма для Cyclozoidea достигал 40% (Лазарева, 2022).

Вселение *Acanthocyclops trajani* в Вислинский залив с позиции кормовой базы рыб и рыболовства более благоприятно, чем вселение *Cercopagis pengoi*, поскольку последний более крупный и активный хищник, имеет хвостовую иглу, а также забивает рыболовные сети, для молоди рыб он конкурент, плохо потребляется рыбами и их молодь (Gutkowska, Paturej, 2010). Тогда как *Acanthocyclops trajani* служит ценным кормовым объектом рыб и разводится в аквакультуре (Rahmati et al., 2020a, 2020b), так же, как и *Moina micrura* (Rasdi et al., 2020). По сравнению с вселением *M. micrura* вселение *Acanthocyclops trajani* менее благоприятно из-за его хищного питания и большего воздействия на нативные виды зоопланктона.

В последние годы наблюдается тенденция не только увеличения числа видов-вселенцев, но и возрастания их доли в сообществах зоопланктона Вислинского залива. Согласно прогнозным моделям, потепление климата продолжится (Meier et al., 2022), при этом биогенная нагрузка не снизится (Александров, Сташко, 2021), а судородства все больше активизируется, возможно,

что вселение *A. trajani* не последнее для этого водоема.

**Выводы.** В 2021 г. в российской части Вислинского залива Балтийского моря был зарегистрирован новый для этого водоема вид *Acanthocyclops trajani*. Его вселение в залив произошло благодаря повышенной температуре воды, высокой биогенной нагрузке, хорошим трофическим условиям, ослаблению пресса бентосного вида-вселенца моллюска *Rangia cuneata*, присутствию свободных ниш в зоопланктоне. Вероятные пути вселения *A. trajani* — это попадание в водоем с балластными водами судов и/или перелетными птицами. Новый вид сразу занял ведущее положение в зоопланктонных сообществах Вислинского залива, особенно в августе, когда было отмечено его наибольшее распространение по акватории водоема. Во время массового развития (июль–август) на долю *A. trajani* приходилось до 35–40% численности и биомассы зоопланктона и до 64–95% численности и биомассы Copepoda. В этот период плодовитость самок была наиболее высокой, смертность — низкой. Средние для водоема численность и биомасса *A. trajani* в июле составляли 4.8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 74 мг/м<sup>3</sup>, а в августе они возрастали в 7–10 раз до 36.0 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 752 мг/м<sup>3</sup>. Количественные показатели были максимальны в наиболее загрязненной и эвтрофированной восточной части водоема и снижались в его центральной и прибалтийской частях, находящихся под воздействием затоков соленых вод из Балтийского моря. *A. trajani* оказывал высокий пресс на планктонное сообщество Вислинского залива, его рацион в августе в 1.7 раз превышал продукцию нехищного зоопланктона. Пресс на планктонное сообщество был еще выше, вследствие массового развития в августе другого хищного вида-вселенца *Cercopagis pengoi*, с которым *Acanthocyclops trajani*, по-видимому, вступал в конкурентные взаимоотношения. С позиции рыболовства вселение *A. trajani* несет меньший потенциальный вред, чем вселение *Cercopagis pengoi*, но больший, чем недавнее вселение *Moina micrura* с фильтрационным типом питания.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам Атлантического филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии Ю.В. Приставко, Н.П. Дюшкову и С.Н. Архиповскому за помощь при сборе материала.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены в рамках государственного задания Атлантического филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хо-



зяйства и океанографии (тема № 076–00004–23-00), государственного задания Института биологии внутренних вод РАН № 121051100109–1: “Систематика, разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных, структура популяций и сообществ в континентальных водах” и Госзадания Лимнологического института СО РАН № 0279–2021–0007 “Комплексные исследования прибрежной зоны озера Байкал: многолетняя динамика сообществ под воздействием различных экологических факторов и биоразнообразия; причины и последствия негативных экологических процессов (2019–2024 гг.)”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдиназаров Х.Х., Мирабдуллаев И.М., Кузметов А.Р., Темирова, Н.Т. 2019. Динамика и численность зоопланктона рыбоводных прудов Ферганской долины // Архивариус. Биол. науки. Т. 42. № 9. С. 4.
- Александров С.В. 2010. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО.
- Александров С.В., Рудинская Л.В. 2022. Первичная продукция и концентрация хлорофилла фитопланктона в Вислинском заливе в условиях биоинвазии моллюска // Актуальные проблемы планктонологии. IV Всероссийская конференция с международным участием: Матер. конф. Калининград. С. 14.
- Александров С.В., Сташко А.В. 2021. Пространственное распределение и сезонная динамика биогенных элементов в Вислинском заливе в 2019 году // Изв. КГТУ. № 60. С. 11.
- Беренбейм Д.Я. 1992. Гидрометеорологическое описание Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря. Калининград. С. 10.
- Гинатуллина Е.Н. 2013. Зоопланктон трансформированных минерализованных озер Узбекистана. Verlag: LAMBERT Acad. Publ.
- Дмитриева О.А., Семенова А.С., Казакова Е.Ю., Поддубева Е.А. 2022. Структура и динамика планктонных сообществ в заливах Балтийского моря и Правдинском водохранилище в 2017–2021 гг. в период цианобактериальных “цветений” воды // Актуальные проблемы планктонологии. IV Всероссийская конференция с международным участием: Матер. конф. Калининград. С. 62.
- Дубовская О.П. 2008. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журн. Сиб. Фед. ун-та. Сер. Биология. № 2. С. 145.
- Жихарев В.С., Гаврилко Д.Е., Шурганова Г.В. 2019. Находка тропического вида *Thermocyclops taihokuensis* (Harada, 1931) (Copepoda: Cyclopoida) в Европейской части России // Поволжск. экол. журн. № 2. С. 264.
- Иванова М.Б. 1985. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. Л.: Наука.
- Крылов П.И. 1989. Питание пресноводного хищного зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Общ. экология. Биоэкол. Гидробиол. Т. 7.
- Лазарева В.И., Жданова С.М. 2022. Восточно-азиатский вселенец *Thermocyclops taihokuensis* (Harada 1931) и аборигенный *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) (Crustacea, Cyclopoidae): сравнительный анализ морфологии двух родственных видов из водоемов Европейской части России 2022 г. // Зоол. журн. Т. 101. № 12. С. 1337. <https://doi.org/10.31857/S0044513422120078>
- Лазарева В.И. 2021. Первая находка *Thermocyclops taihokuensis* (Crustacea, Copepoda) в бассейне р. Оки // Биология внутр. вод. № 1. С. 91. <https://doi.org/10.31857/S0320965221010071>
- Лазарева В.И. 2022. Трофические взаимодействия в зоопланктоне Цимлянского водохранилища (Россия) // Биология внутр. вод. № 3. С. 264. <https://doi.org/10.31857/S0320965222030135>
- Монаков А.В. 1998. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: РАН.
- Монченко В.И. 1974. Щелепнороті циклоподібні. Циклопи (Cyclopidae). Киев: Наук. думка.
- Науменко Е.Н. 2008. Влияние факторов среды на трофическую цепь в сообществе зоопланктона куршского и калининградского (Вислинского) заливов Балтийского моря // Вест. Российского гос. ун-та им. И. Канта. № 7. С. 36.
- Науменко Е.Н. 2010. Структурно-функциональная организация зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО.
- Науменко Е.Н., Рудинская Л.В., Гусев А.А. 2014. Влияние видов-вселенцев на структуру зоопланктона и зообентоса в Вислинском заливе Балтийского моря // Региональная экология. № 1–2 (35). С. 21.
- Науменко Е.Н., Судник С.А. 2016. Видовое разнообразие веслоногих ракообразных (Crustacea: Maxillopoda: Copepoda Milne-Edwards, 1840) эстуариев Калининградской области (обзор) // Изв. КГТУ. № 43. С. 45.
- Науменко Е.Н., Телеш И.В. 2019. Воздействие вселенца *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) на структурно-функциональную организацию зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря // Рос. журн. биол. инвазий. Т. 12. № 2. С. 64.
- Рудинская Л.В., Гусев А.А. 2012. Вселение североамериканского двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* (G.V. Sowerby, 1831) (Bivalvia: Mactridae) в Вислинский залив Балтийского моря // Рос. журн. биол. инвазий. № 2. С. 115.
- Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). 2018. М: Тов-во науч. изд. КМК.
- Семенова А.С. 2010а. Индикаторная роль зоопланктона в оценке экологического состояния Куршского залива: Дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Борок. 280 с.
- Семенова А.С. 2010б. Систематическое положение массовых видов Cladocera Куршского залива Балтийского моря на современном этапе // Бюл. МОИП. Отд. Биол. Т. 115. № 3. С. 28.
- Сташко А.В., Александров С.В. 2023. Пространственное распределение и сезонная динамика гидрохимических условий в Вислинском заливе Балтийского

- моря в 2020–2022 гг. // Океанологические исследования. Т. 51. № 1. С. 71.  
[https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).4](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).4)
- Alekseev V.R. 2021. Confusing invader: *Acanthocyclops americanus* (Copepoda: Cyclopoida) and its biological, anthropogenic and climate-dependent mechanisms of rapid distribution in Eurasia // Water. V. 13. № 10. P. 1423.  
<https://doi.org/10.3390/w13101423>
- Annabi-Trabelsi N., Shabrawy G.El., Goher M.E. et al. 2019. Key drivers for copepod assemblages in a eutrophic coastal brackish lake // Water. V. 11. № 363. P. 20.  
<https://doi.org/10.3390/w11020363>
- Anufrieva E.V., Hołyńska M., Shadrin N.V. 2014. Current invasions of Asian Cyclopoid species (Copepoda: Cyclopoidae) in Crimea, with taxonomical and zoogeographical remarks on the hypersaline and freshwater fauna // Ann. zool. V. 64. № 1. P. 109.  
<https://doi.org/10.3161/000345414X680636>
- Bickel S.L., Tang K.W., Grossart H.P. 2008. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters // Freshwater Biol. V. 54. № 5. P. 971.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02141.x>
- Bla'ha M., Hula M.K., Sloukova J., Tesitel J. 2010. Molecular and morphological patterns across *Acanthocyclops vernalis-robustus* species complex (Copepoda, Cyclopoida) // Zoologica Scripta. V. 39. P. 259.
- Błędzki L.A., Rybak J.I. 2016. Freshwater Crustacean zooplankton of Europe. Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida). Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Switzerland: Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-29871-9>
- Demereckiene N.E., Polunina J.J., Rodionova N.V. 2016. The Ponto-Caspian invader *Evadne anonyx* Sars (Crustacea, Cladocera) in the pelagic zone of the Southeastern Baltic // Rus. J. Biol. Invasions. V. 7. P. 220.  
<https://doi.org/10.1134/S2075111716030036>
- Dumont H.J., El Shabrawy G.M. 2008. Seven decades of change in the zooplankton (sl) of the Nile Delta Lakes (Egypt), with particular reference to Lake Borullus // Intern. Rev. of Hydrobiol. V. 93. № 1. P. 44.
- Dussart B. 1969. Les Copepodes des Eaux Continentales d'Europe Occidentale II: Cyclopoïdes et Biologie. Paris: N. Boubee & Cie.
- Gutkowska A., Paturej E. 2010. *Cercopagis pengoi* as an invasive species // J. Ecol. Protection Coastline. V. 14. P. 5.
- Haney J.F., Hall D.J. 1973. Sugar-coated *Daphnia*: Apreservation technique for Cladocera // Limnol., Oceanogr. V. 18. № 2. P. 331.  
<https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.2.0331>
- Karpowicz M., Kornijów R., Ejsmont-Karabin J. 2023. Not a Good Place to Live for Most, but Excellent for a Few – Diversity of Zooplankton in a Shallow Coastal Ecosystem // Sustainability. V. 15. № 3. P. 2345.  
<https://doi.org/10.3390/su15032345>
- Kiefer F. 1976. Revision der robustus-vernalis-Gruppe der Gattung *Acanthocyclops* Kiefer (Crustacea, Copepoda) (Mit eingehender Beurteilung des “*Cyclops americanus* Marsh, 1892”) // Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland. V. 35. S. 95.
- Kownacka J., Całkiewicz J., Kornijów R. 2020. A turning point in the development of phytoplankton in the Vistula Lagoon (southern Baltic Sea) at the beginning of the 21st century // Oceanologia. V. 62. № 4. P. 538.  
<https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.08.004>
- Kozminski Z. 1936. Morphometrische und oekologische Untersuchungen an Cyclopiden der *strenuus*-Gruppe // Int. Rev. gesamt. Hydrobiol. und Hydrographie. V. 33. № 3. S. 161.
- Krupa E., Aubakirova M. 2021. *Acanthocyclops trajani* Mirabdullayev et Defaye (Copepoda, Cyclopoida) as An Indicator of the Ecological State of Water Bodies in Kazakhstan // IOP Conference Series: Earth Environ. Sci. V. 690. № 1. P. 012050.
- Krupa E., Barinova S., Assylbekova S., Isbekov K. 2018. Structural indicators of zooplankton in the Shardara reservoir (Kazakhstan) and the main influencing factors // Turkish J. Fish Aquat. Sci. V. 18. № 5. P. 659.
- Krupa E., Barinova S., Romanova S. et al. 2020. Planktonic invertebrates in the assessment of long-term change in water quality of the Sorbulak Wastewater Disposal System (Kazakhstan) // Water. V. 12. № 12. P. 3409.  
<https://doi.org/10.3390/w12123409>
- Meier H.E.M., Dieterich C., Gröger M. et al. 2022. Oceanographic regional climate projections for the Baltic Sea until 2100 // Earth Syst. Dynam. V. 13. P. 159.  
<https://doi.org/10.5194/esd-13-159-2022>
- Mirabdullayev I.M., Defaye D. 2002. On the taxonomy of the *Acanthocyclops robustus* species complex (Copepoda, Cyclopidae). 1. *Acanthocyclops robustus* (G.O. Sars, 1863) and *Acanthocyclops trajani* n. sp. // Selevinia. № 1–4. P. 7.
- Mirabdullayev I.M., Defaye D. 2004. On the taxonomy of the *Acanthocyclops robustus* species-complex (Copepoda, Cyclopidae). *Acanthocyclops brevispinosus* (Herrick, 1884) and *A. einsei* n. sp. // Вест. зоол. Киев. Т. 38. № 5. P. 27.
- Miracle M.R., Alekseev V., Monchenko V. et al. 2013. Molecular-genetic-based contribution to the taxonomy of the *Acanthocyclops robustus* group // J. Nat. Hist. V. 47. № 5–12. P. 863.  
<https://doi.org/10.1080/00222933.2012.744432>
- Nentwig W. 2009. Handbook of alien species in Europe. Springer.
- Rahmati R., Fereidouni A., Rouhi A., Agh N. 2020a. Effects of different diets on population growth and fatty acids composition in cyclopoid copepod, *Acanthocyclops trajani* (Mirabdullayev and Defaye, 2002): A potential supplementary live food for freshwater fish larvae // Iranian J. Fish. Sci. V. 19. № 3. P. 1447.  
<https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.120729>
- Rahmati R., Fereidouni A., Agh N., Doustdar M. 2020b. Effect of Cyclopoid Copepod *Acanthocyclops trajani* as a Supplementary Live Feed on the Growth, Survival and Fatty Acid Composition of Beluga Larvae (*Huso huso*) // Aquacult. Stud. V. 20. № 1. P. 183.  
[https://doi.org/10.4194/2618-6381-v20\\_1\\_05](https://doi.org/10.4194/2618-6381-v20_1_05)
- Rasdi N.W., Arshad A., Ikhwannuddin M. et al. 2020. A review on the improvement of cladocera (*Moina*) nutrition as live food for aquaculture: Using valuable plankton fisheries resources // J. Environ. Biol. V. 41. P. 1239.  
[https://doi.org/10.22438/jeb/41/5\(SI\)/MS\\_16](https://doi.org/10.22438/jeb/41/5(SI)/MS_16)

- Schutt E., Hołyńska M., Wyngaard G.A.* 2021. Genome size in cyclopoid copepods (Copepoda: Cyclopoida): chromatin diminution as a hypothesized mechanism of evolutionary constraint // *J. Crustacean Biol.* V. 41. № 3. ruab043.  
https://doi.org/10.1093/jcabi/ruab043
- Seepersad B., Crippen R.W.* 1978. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton // *J. Fish Res. Board Canada.* V. 35. № 10. P. 1363.
- Semenova A.S., Tchougounov V.K.* 2018. The distribution of *Moina micrura* Kurz, 1875 (Crustacea: Moinidae) in the Russian Part of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) // *Rus. J. Biol. Invasions.* V. 9. № 2. P. 175.
- Venkatnarayanan S., Kumar P.S., Pandey V. et al.* 2022. Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* V. 549. P. 151697.  
https://doi.org/10.1016/j.jembe.2022.151697
- Viitasalo M., Bonsdorff E.* 2022. Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning // *Earth Syst. Dynam.* V. 13. P. 711.  
https://doi.org/10.5194/esd-13-711-2022

## The First Record of *Acanthocyclops trajani* (Copepoda, Cyclopidae) in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea

A. S. Semenova<sup>1, 2, \*</sup>, I. M. Mirabdullaev<sup>3</sup>, N. G. Sheveleva<sup>4</sup>, and V. N. Podshivalina<sup>5, 6</sup>

<sup>1</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Atlantic Branch (AtlantNIRO), Kaliningrad, Russia

<sup>2</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia

<sup>3</sup>Karakalpak Research Institute of Natural Sciences of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Nukus, Uzbekistan

<sup>4</sup>Limnological Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

<sup>5</sup>State Nature Reserve "Prisursky", Cheboksary, Russia

<sup>6</sup>Chuvash State University, Cheboksary, Russia

\*e-mail: a.s.semenowa@mail.ru

In 2021 *Acanthocyclops trajani* Mirabdullayev et Defaye, 2002, was first record in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. This species quickly spread throughout the water area of the Lagoon. In summer, *A. trajani* reached its maximum development (up to 92 thousand ind./m<sup>3</sup>, 2.4 g/m<sup>3</sup>), was a dominant and forming a particularly high proportion of zooplankton in the most polluted, desalinated and eutrophicated eastern part of the Vistula Lagoon. As a result of predatory feeding, *A. trajani* exerted significant pressure on the planktonic communities of the Lagoon; its diet in August exceeded the production of non-predatory zooplankton. The pressure on zooplankton increased even more due to the mass development of *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891), with which the new species entered into competitive relationships. The main reasons for the successful naturalization of *A. trajani* in the Vistula Lagoon, apparently, include some features of its biology, the structure of the plankton community with the presence of unoccupied trophic niches, the continued eutrophication this waterbody, decreasing the pressure of the invasive mollusk *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby, 1831), as well as local climate warming, noted in recent decades.

**Keywords:** *Acanthocyclops trajani*, zooplankton, invasive species, Vistula Lagoon, Baltic Sea