



УДК [591.524.12:551.465](282.247.29.05)

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВЫХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПРЕГОЛИ (БАССЕЙН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ) ПОСЛЕ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЕЁ РУСЛА

© 2022 г. Ю. Ю. Полунина<sup>1</sup>, Ж. И. Стонт<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская ФедерацияE-mail: [jul\\_polunina@mail.ru](mailto:jul_polunina@mail.ru)Поступила в редакцию 04.02.2021; после доработки 15.06.2021;  
принята к публикации 24.12.2021; опубликована онлайн 22.03.2022.

В устьевой области р. Преголи в 2014–2018 гг. были проведены масштабные гидротехнические работы. На основе сравнения полученных в 2019 г. данных с материалами предыдущих исследований выявлены изменения в структуре сообществ летнего зоопланктона устьевой зоны. Общая численность и биомасса зоопланктона в июне 2019 г. составляли  $(136 \pm 111)$  тыс. экз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> и  $(860 \pm 840)$  мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно, что соизмеримо с усреднёнными величинами исследований 1996–2006 гг. —  $(71 \pm 66)$  тыс. экз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> и  $(664 \pm 337)$  мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно. Летом 2019 г. эвригалинный вид копепод *Eurytemora affinis*, массовый в Вислинском заливе, был впервые отмечен в рукаве Новая Преголя. Присутствие этого вида в рукавах реки, как и значения солёности воды, может быть следствием увеличения частоты или интенсивности нагонов вод Вислинского залива в реку. Проанализированы ветровые условия в периоды 1996–2006 и 2011–2019 гг. Увеличения частоты ветров, действующих вдоль эффективного стонно-нагонного направления (юго-западные, западные), в 2011–2019 гг. в сравнении с 1996–2006 гг. не выявлено, однако отмечен рост частоты штормов, в том числе в летний период. Штормовые ветры западного направления способствуют поступлению воды из Вислинского залива и канала вверх по течению реки. Вероятно, уничтожение сообществ речных макрофитов и бетонирование набережных, а также изменение конфигурации дна русла повлияли на интенсивность поступления вод из залива в рукава реки при нагонах и стали важным фактором, воздействующим на распространение эвригалинных видов из залива в рукавах реки.

**Ключевые слова:** структура зоопланктона, нагонные явления, штормовая активность, направление ветра, река Преголя, бассейн Балтийского моря

Преголя — средняя, медленно текущая река общей длиной 123 км (292 км с притоками) — является важнейшим пресноводным объектом Калининградской области РФ. Устьевая область реки, Вислинский залив (часть залива, которая принадлежит РФ, называется Калининградским заливом) и Калининградский морской канал, выходящий в Балтийское море, формируют единую гидродинамическую систему, для которой характерны смешение пресных и морских вод, а также вертикальный и горизонтальный градиент солёности (Чубаренко и Шкуренко, 2001; Krechik et al., 2020). В месте впадения р. Преголи в Вислинский залив среднее значение солёности составляет около 3 ‰, а воды с солёностью 1 ‰ проникают в русло по дну; придонная граница клина солоноватых водных масс распространяется на 11 км выше устья реки, приповерхностная — на 7 км (Домнин и др., 2013).

В эстуарной части р. Преголи, наряду с многолетней тенденцией роста её среднего уровня (Абрамов и др., 2013 ; Стонт и др., 2020b ; Dailidienė et al., 2012), наблюдается периодическое кратковременное повышение уровня, связанное с режимом нагонных ветров и притоком воды из Балтийского моря в Вислинский залив через узкий неглубокий Балтийский пролив (рис. 1). Как правило, нагоны вод из залива и канала в реку происходят осенью и зимой, что соответствует наибольшей повторяемости штормовых ветров эффективного сгонно-нагонного направления (для р. Преголи — юго-западные и западные), когда траектории движения центров глубоких атлантических циклонов проходят над Балтийским морем. При штормовых ветрах происходит подпор речной воды в р. Преголе. Уровень повышается, течение реки может быть направлено к истоку; нагонная волна в отдельных случаях распространяется вверх по течению вплоть до г. Гвардейска (Наумов, 2015 ; Сергеева, 2013).

В устьевой области р. Преголи расположен г. Калининград с населением почти 500 тыс. человек. Здесь находятся крупные порты, нефтебаза и другие хозяйственные объекты, поэтому антропогенная нагрузка на этот участок реки крайне велика (Биологические сообщества реки Преголя, 2013). Масштабная техногенная трансформация участка реки в черте города произошла в 2014–2018 гг. Между рукавами реки Старая и Новая Преголя на острове Октябрьский был возведён крупный стадион; были реконструированы имеющиеся и построены новые мосты и набережные, а также проведены отсыпка и бетонирование берегов в рукавах реки. При возведении гидротехнических сооружений был существенно углублён и изменён профиль русел в рукавах реки, что изменило конфигурацию дна. Уменьшилась площадь прибрежной части реки, сократилась площадь прибрежно-водной растительности. Наряду с этими изменениями устьевой участка р. Преголи, на динамику её вод и, как следствие, на структурные показатели зоопланктонного сообщества существенно влияет изменчивость гидрометеорологических характеристик бассейна Балтийского моря, особенно выраженные флуктуации которых отмечены в последние годы (Стонт и др., 2020a, b).

Сведения о составе, структуре, распределении и сезонной динамике численности, биомассы и продукции зоопланктона р. Преголи до трансформации её устьевой области представлены в ряде работ (Ежова и Цыбалева, 1995 ; Полунина, 2013, 2014 ; Полунина и др., 2018 ; Цыбалева и Потребич, 1995).

Цель настоящего исследования — оценить современное состояние зоопланктонного сообщества устьевой области реки Преголи после техногенной трансформации русла с учётом изменчивости ветровых условий.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

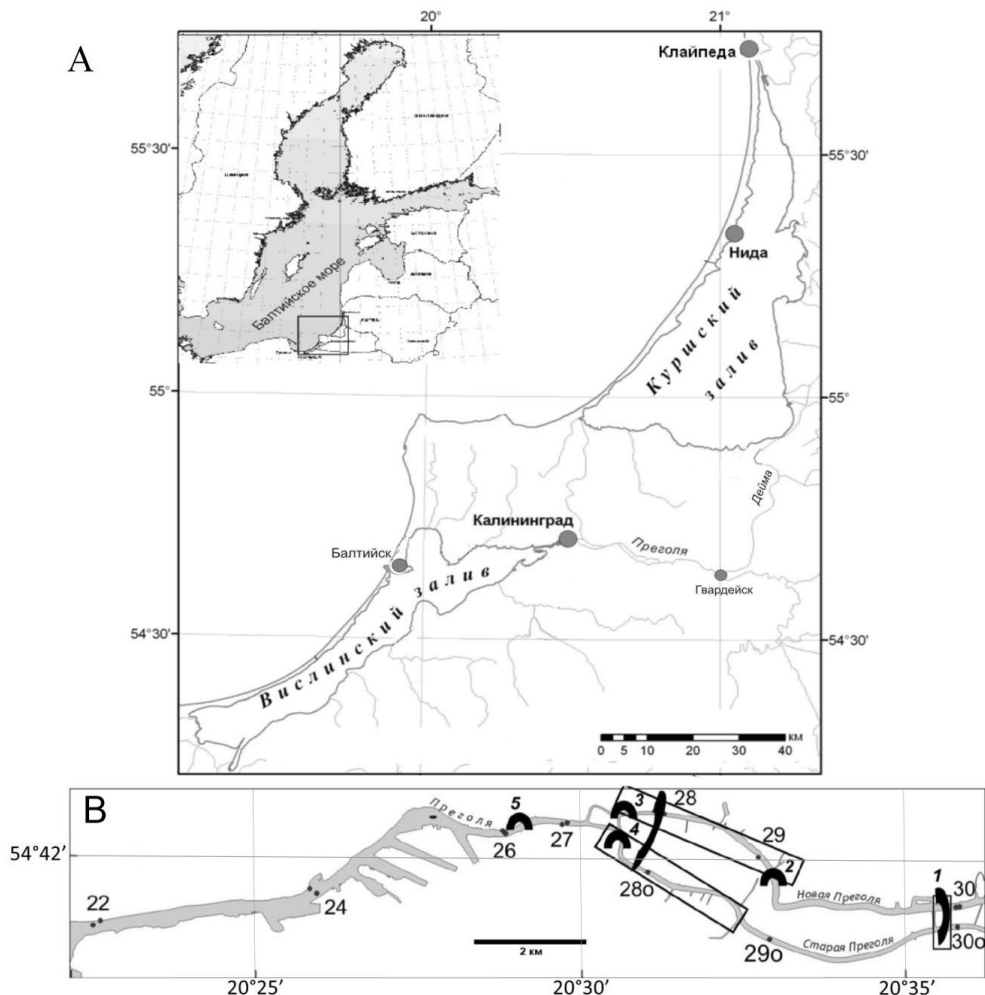
Район исследования — нижнее течение р. Преголи, Вислинский залив, юго-восточная часть Балтийского моря (далее — ЮВБ) (рис. 1А).

Пробы мезозоопланктона собраны в устьевой области р. Преголи; общая протяжённость участка составляет около 17 км, включая рукава реки Новая Преголя (далее — Н. Преголя) (ст. 28, 29 и 30) и Старая Преголя (далее — С. Преголя) (ст. 28о, 29о и 30о), участок реки после слияния рукавов (далее — УПСР) (ст. 24–27) и устье (ст. 22) (см. рис. 1В). Пробы были отобраны на 10 разрезах, где одна станция располагалась в медиали (стрежневая, центральная часть русла реки), а вторая — в рипали (прибрежная часть реки). В 1996–2006 гг. пробы отбирали ежемесячно с апреля по ноябрь, в 2011 и 2014 гг. — только в летний период (около 300 проб). В 2019 г. 20 проб были отобраны 25–26 июня. Сбор проб проводили на маломерных судах.

В рукавах Преголи глубины в медиальной части реки варьируют от 2,0 до 4,0 м; грунты илистые с большим содержанием детрита. В рипали грунты преимущественно песчаные, песчано-галечные, содержат детрит и иногда антропогенный мусор. На большей протяжённости рукавов

в рипали выражен пояс растительности, за исключением ст. 28 и 28о, где берега были забетонированы в 2014–2018 гг. После слияния рукавов до устья глубина возрастает, достигая 10 м, благодаря искусственному дноуглублению этой части реки, где расположены порты г. Калининграда. Грунты на данном участке илистые, часто содержат антропогенный мусор и различные фракции нефтяных продуктов; берега забетонированы почти на всём протяжении участка.

Зоопланктон отбирали в медиальной части реки малой сетью Джели ( $d = 14$  см; ячейка 100 мкм; длина сети около 1 м) totally от дна до поверхности (концевой груз касался грунта, затем сеть поднимали до поверхности). В рипали отбирали 50 л воды ведром и процеживали через сеть Апштейна (ячейка 100 мкм), фиксировали 40%-ным раствором формальдегида до конечной концентрации в пробе 4 %. Пробы обрабатывали согласно (Методические рекомендации, 1984); биомассу рассчитывали по уравнениям зависимости массы от длины организма (Балушкина и Винберг, 1979). Проведена стандартная статистическая обработка данных с использованием пакета Microsoft Excel; рассчитаны значения корреляции (Спирмена), критерия Фишера, индексов Шеннона и Пиелу.



**Рис. 1.** Схема расположения района исследования (А) и станций отбора проб зоопланктона в устьевой области реки Преголя в 2019 г. (В) (22–30 — станции отбора проб; 1–5,  $\cap$  — мосты;  $\square$  — участки реки, на которых были проведены масштабные гидротехнические работы)

**Fig. 1.** Schematic map of the area studied (A) and zooplankton sampling sites in the estuary of the Pregolya River in 2019 (B) (22–30, sampling sites; 1–5,  $\cap$ , bridges;  $\square$ , areas of the river subjected to large-scale hydraulic engineering works)

Температуру воды измеряли водным термометром в оправе Шпиндлера, прозрачность — диском Секки. Пробы воды для определения солёности в придонном слое отбирали батометром Нискина в пластиковые 2-литровые ёмкости; затем в лаборатории определяли солёность зондом Ocean Seven 316 Plus (Idronaut, Италия); величины представлены согласно шкале практической солёности (Practical Salinity Scale).

Для оценки изменчивости гидрометеорологических условий за период с 1998 по 2006 г. использованы архивные данные Атлантического отделения Института океанологии РАН (Абрамов и Стонт, 2004); за 2011–2019 гг. — открытые данные наблюдений на метеостанции 26701 (УМКК, г. Балтийск, 54°39'N, 19°55'E) (Погода в 243 странах мира, 2020). Условия возникновения штормов и их траектории в районе ЮВБ проанализированы по синоптическим картам метеоцентра Bracknell (Великобритания) (Weather and Climate Change, 2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В поверхностном слое р. Преголи температура воды в июне 2019 г. изменялась от +25,5 до +26,0 °С, в придонном слое — от +20,1 до +24,0 °С. Более высокие значения отмечены в рукавах реки. В придонном слое в устье и УПСР температура была минимальной (+20,1 °С), что связано, вероятно, с прохождением по дну более холодной морской воды.

Прозрачность воды варьировала в рукавах Преголи от 1,3 до 1,8 м, а на УПСР — от 1,2 до 1,5 м; в устье значение составляло всего 1,0 м. Зафиксировано снижение прозрачности вод по продольному профилю реки от верхних станций к устью.

Максимальные показатели придонной солёности (5,6 PSU) отмечены в устье и на УПСР, при этом в поверхностном слое солёность не превышала 0,4 PSU. В рукаве С. Преголя значение солёности в поверхностном слое изменялось крайне незначительно и составляло  $(0,252 \pm 0,005)$  PSU, а в придонном —  $(0,256 \pm 0,007)$  PSU. Солёность в Н. Преголе в поверхностном слое была  $(0,250 \pm 0,002)$  PSU, а в придонном варьировала от 0,250 до 1,459 PSU. Значение солёности 1,46 PSU в рукаве Н. Преголя свидетельствует о поступлении воды из залива и канала в реку в летний период.

В период отбора проб ветер был юго-восточного направления, слабый (3–4 м·с<sup>-1</sup>).

Зоопланктон был представлен 65 видами и таксонами более высокого ранга: Rotifera — 25, Copepoda — 12, Cladocera — 28. В меропланктоне наиболее многочисленными были личинки *Bivalvia*. Впервые отмечены несколько видов коловраток и кладоцер (ранее на исследуемом участке реки их не регистрировали). Это коловратки *Ascomorpha ecaudis* Perty, 1850, *Anuraeopsis fissa* Gosse, 1851, *Lepadella* sp., *Collotheca artrochoides* (Wierzejski, 1893), *Colurella* sp. и *Conochiloides* sp., бóльшая часть которых известна как обитатели прибрежных, заросших макрофитами вод при условиях повышенного содержания биогенных веществ и взвешенного вещества. Несколько типично пресноводных видов кладоцер были также зарегистрированы нами в Преголе впервые, причём *Pleuroxus trigonellus* (O. F. Müller, 1776) по продольному профилю реки встречался почти на всех станциях, а по поперечному был наиболее многочисленным в рипали. *Simocephalus serrulatus* (Koch, 1841) и *Pleuroxus (Picripleuroxus) striatus* Schoedler, 1863 присутствовали только в прибрежных зарослях рипали С. Преголи.

В устье реки зафиксированы представители морского планктона — калянида *Temora longicornis* (O. F. Müller, 1785) и кладоцера *Evadne nordmanni* Lovén, 1836. Они, вероятно, были занесены в устье в результате нагона морских вод из канала. Численность этих видов была низкой — 140 и 9 экз.·м<sup>-3</sup> соответственно.

Максимальное число видов зоопланктона отмечено в рукавах реки (табл. 1), именно здесь обитало большинство видов кладоцер. В рипали рукавов реки с выраженным поясом растительности число видов выше, чем в медиали, за счёт коловраток и кладоцер.

На УПСР до устья разнообразие зоопланктона снизилось. Минимальное число видов отмечено в устье реки, там встречены типичные виды Вислинского залива — копеподы *Acartia* spp., *T. longicornis* и *Eurytemora affinis* и клadoцера *E. nordmanni*. Таким образом, более разнообразен зоопланктон в рукавах реки.

**Таблица 1.** Количество видов разных групп зоопланктона в р. Преголе, июнь 2019 г.

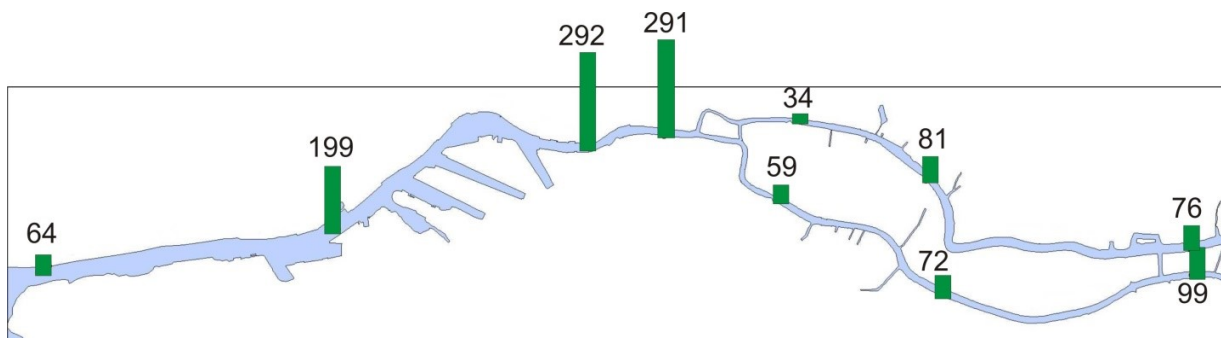
**Table 1.** Number of zooplankton species of different groups in the Pregolya River, June 2019

Группы зоопланктона	Участок реки			
	Устье	УПСР	Н. Преголя	С. Преголя
Rotifera	11	16	18	17
Copepoda	10	9	8	10
Cladocera	10	14	23	23
Меропланктон	2	2	1	1
<b>Всего</b>	<b>33</b>	<b>41</b>	<b>50</b>	<b>51</b>

Основу зоопланктона составляли веслоногие ракообразные. В рукавах Преголи массовыми видами были пресноводные циклопы *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) и *Acanthocyclops viridis* (Jurine, 1820) и их ювенильные стадии (в совокупности почти 65 % общей численности зоопланктона). После слияния рукавов и в устье массово развивалась эвригалинная калянида *E. affinis* и её ювенильные стадии (около 33 % общей численности зоопланктона), однако доля *M. leuckarti* оставалась существенной (почти 26 %).

Вклад клadoцер в общую численность зоопланктона в изучаемый период был невелик. В рукавах реки их доля была наиболее существенной — около 15 % общей численности зоопланктона. Многочисленным был вид *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller, 1785), составляющий около 6 % общей численности зоопланктона. Ниже по течению, после слияния рукавов, доля клadoцер сократилась до 1 % от общей численности. В среднем, для всего исследуемого участка реки, численность клadoцер не превышала 7 тыс. экз.·м<sup>-3</sup>.

Распределение зоопланктона по продольному профилю реки показало, что более высокие значения численности зарегистрированы после слияния рукавов (рис. 2). В рукавах максимальные значения численности были в 3–7 раз ниже таковых, отмеченных для УПСР и устья.



**Рис. 2.** Распределение зоопланктона (численность, тыс. экз.·м<sup>-3</sup>) в медиали р. Преголи, июнь 2019 г.

**Fig. 2.** Distribution of zooplankton (abundance, thousand ind.·m<sup>-3</sup>) in the medial of the Pregolya River, June 2019

Распределение биомассы зоопланктона по продольному профилю реки аналогично распределению численности: максимальные значения биомассы зарегистрированы после слияния рукавов, прежде всего за счёт высокой численности и биомассы довольно крупной *E. affinis* (табл. 2).



Средняя биомасса зоопланктона в рукавах Преголи — около  $200 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ , что почти в 10 раз ниже показателей биомассы в районе реки после слияния рукавов. Основу биомассы составляли веслоногие рачки. Биомасса кладоцер была выше в рипали реки, чем в медиали.

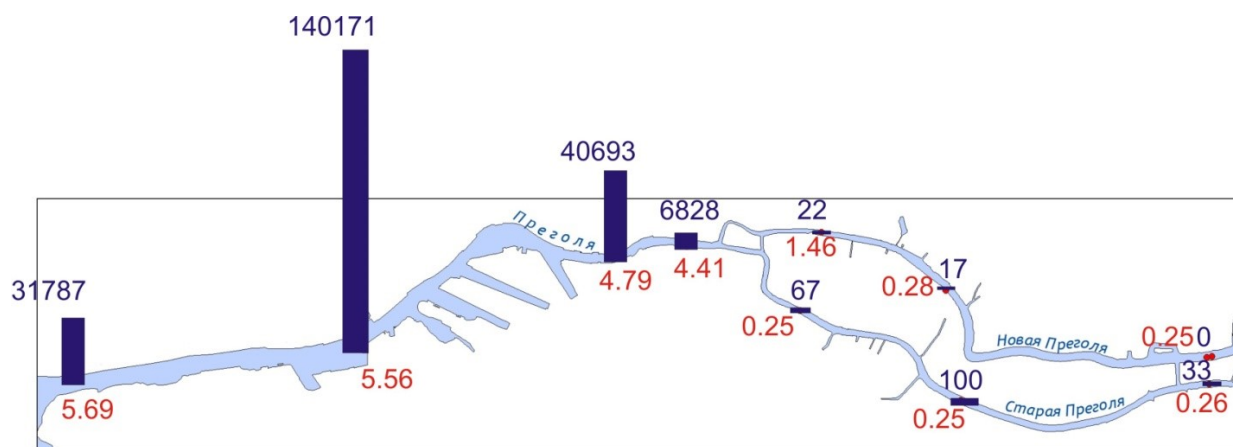
Значения индекса Шеннона и Пиелу разных участков реки показали, что наиболее разнообразным и выровненным является сообщество в рукавах Преголи (табл. 1, 2). Для всей устьевой области реки индекс Шеннона составил 3,2, а индекс Пиелу — 0,77. Это характеризует сообщество зоопланктона как сбалансированное, с высоким видовым разнообразием.

**Таблица 2.** Число видов, численность, биомасса, значения индекса Шеннона и Пиелу сообщества зоопланктона на разных участках реки Преголи, июнь 2019 г. (М — медиаль; Р — рипаль)

**Table 2.** Species number, abundance, biomass, and values of the Shannon and Pielou indices of zooplankton community at different areas of the Pregolya River, June 2019 (M denotes medial; P, ripal)

Показатель	Устье		УПСР		Н. Преголя		С. Преголя		Вся устьевая область
	М	Р	М	Р	М	Р	М	Р	
Число видов	15	24	42	37	31	40	30	38	65
Численность, тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-3}$	64–752		30–291		17–90		39–101		17–752
Биомасса, мг $\cdot\text{м}^{-3}$	620–1550		182–5600		20–515		161–534		20–5600
Индекс Шеннона	1,1		1,9		2,8		2,8		3,2
Индекс Пиелу	0,31		0,51		0,69		0,71		0,77

Наиболее высокая численность каляниды *E. affinis*, обитателя вод Вислинского залива, отмечена на УПСР и в устье реки (рис. 3), что типично для ситуации на данном участке (Полунина, 2013 ; Полунина и др., 2018). Летом 2019 г. этот вид был впервые зарегистрирован и в рукаве Н. Преголя. В период отбора проб придонная солёность в Н. Преголе была выше, чем в рукаве С. Преголя (рис. 3). Ранее в осенний период было зафиксировано повышение придонной солёности в С. Преголе относительно значения в Н. Преголе; сделан вывод о преимущественном поступлении вод при нагонах именно в рукав С. Преголя (Полунина и др., 2018). В июне 2019 г. обнаружена заметная положительная прямая корреляция между численностью *E. affinis* и солёностью придонных вод ( $R = 0,69$  при  $p = 0,13$ ).

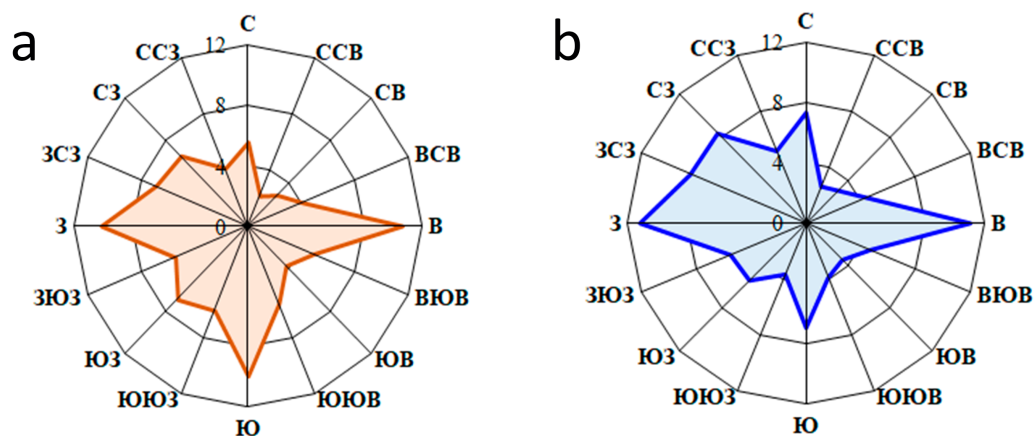


**Рис. 3.** Распределение *Eurytemora affinis* (синие столбики — численность, экз. $\cdot\text{м}^{-3}$ ) и придонной солёности (красные цифры) в устьевой области р. Преголи, июнь 2019 г.

**Fig. 3.** Distribution of *Eurytemora affinis* (blue column, abundance, ind. $\cdot\text{м}^{-3}$ ) and bottom salinity (red figures) in the estuary of the Pregolya River, June 2019

Важным фактором, влияющим на нагоны вод из залива в реку, является частота и сила ветров. Проведённый анализ ветровых условий в период активной антропогенной трансформации русла (2011–2019) и перед ней по данным метеостанции г. Балтийска подтвердил региональную климатическую особенность — преобладание ветров западных румбов и ориентированность розы ветров в зональном направлении (запад — восток) (рис. 4), вдоль которого и происходят сгонно-нагонные явления.

В апреле — октябре (вегетационный период) по сравнению с годовым ходом увеличивается повторяемость З — СЗ — С румбов при уменьшении ветров от южной половины горизонта (рис. 4). Именно ветер западных румбов, особенно штормовой, вызывает нагон солоноватых вод в устье реки (Сергеева, 2013).



**Рис. 4.** Средняя повторяемость (%) направлений ветра (роза ветров), г. Балтийск, 2011–2019 гг.: а — среднегодовая; б — за вегетационный период (апрель — октябрь)

**Fig. 4.** Mean frequency (%) of wind directions (wind rose), Baltiysk, 2011–2019: a, mean annual; b, during vegetation period (April to October)

За вегетационный период (апрель — октябрь) 1996–2006 гг. (до масштабной антропогенной трансформации русла реки) повторяемость ветра юго-западного и западного (ЮЗ — З) направления составила 38 % от всех направлений; на западный ветер приходилось 25 %, на юго-западный — 13 %. За вегетационный период (апрель — октябрь) 2011–2019 гг. ветры юго-западного — западного направления сохранили своё господство: в совокупности их повторяемость составила 30 % повторяемости ветров всех направлений (западное — 25 %, юго-западное — 5 %). Статистическое сравнение повторяемости ветров за 1996–2006 и 2011–2019 гг. не выявило значимых отличий ( $F = 0,04$  при  $p = 0,84$ ;  $F$  критическое = 4,60). Значимого изменения частоты ветров эффективного сгонно-нагонного направления (ЮЗ — З) в период 2011–2019 гг. не обнаружено.

Проанализирована связь сезонной частоты и скорости ветров западных направлений с количественными показателями эвригалинного вида калянид *E. affinis* в устьевой области р. Преголи за вегетационный период 1996–2006 гг. (табл. 3).

Выявлена положительная прямая корреляция между численностью *E. affinis* и повторяемостью ветров западных румбов —  $R = 0,66$  при  $p = 0,05$ ; при этом значение критерия Фишера  $F$  составило 4,56 при  $p = 0,05$  ( $F$  критическое = 4,60). Обнаружена высокая положительная корреляция между численностью рачка и скоростью ветров западных направлений —  $R = 0,82$  при  $p = 0,05$ ; при этом  $F = 4,58$  при  $p = 0,05$  ( $F$  критическое = 4,60). Это подтверждает проникновение вверх по реке эвригалинных рачков *E. affinis* при увеличении частоты повторяемости и в большей мере скорости ветров западного направления.

**Таблица 3.** Сезонная динамика численности рачка *Eurytemora affinis* и характеристик ветров западных румбов в устьевой области р. Преголи (в среднем за 1996–2006 гг.)

**Table 3.** Seasonal dynamics of decapod *Eurytemora affinis* abundance and characteristics of the west winds in the estuary of the Pregolya River (mean for 1996–2006)

Показатель	Порядковый номер месяца							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Численность <i>Eurytemora affinis</i> , экз.·м <sup>-3</sup>	2176 ± 1139	5066 ± 3276	1062 ± 1003	995 ± 735	1286 ± 1172	9269 ± 3293	28951 ± 20154	36856 ± 29541
Повторяемость ветров западных румбов, %	29	31	39	29	35	34	41	39
Средняя скорость ± σ ветров западных румбов, м·с <sup>-1</sup>	3,8 ± 2,49	3,7 ± 1,76	4,2 ± 2,39	4,0 ± 2,45	4,4 ± 2,69	4,1 ± 2,35	4,5 ± 3,46	5,7 ± 3,58

Рассмотрим штормовые ситуации, когда скорость ветра превышала 15 м·с<sup>-1</sup>. Всего за вегетационный период (апрель — октябрь) 2011–2019 гг. зарегистрировано более 70 штормов (табл. 4). В осенние месяцы (сентябрь и октябрь) фиксировали до 7 штормовых ситуаций; скорость ветра достигала 22–23 м·с<sup>-1</sup>. В апреле — августе повторяемость составила 1–2 шторма в месяц. В отдельные годы в эти месяцы штормов не было. В 2011–2015 гг. штормы в основном характеризовались скоростью ветра до 18 м·с<sup>-1</sup>; исключением стал октябрь 2012 г., когда прошли 4 шторма от западных румбов скоростью до 21–23 м·с<sup>-1</sup>. Для периода 2016–2019 гг. отмечено усиление штормовой активности в осенние месяцы. В 2017 г. атлантические штормы характеризовались ветрами западных направлений скоростью до 20–23 м·с<sup>-1</sup> (9–10 баллов по шкале Бофорта) и продолжительностью свыше 1,5 суток. Количество штормов в выделенных подпериодах не изменилось: за первый (2011–2015) зарегистрировано 36 штормов, за второй (2016–2019) — 35. Наибольший вклад вносили осенние штормы. Во второй подпериод при уменьшении весенне-летних штормов увеличилось количество осенних (27 штормов).

Общая продолжительность штормов во второй подпериод (2016–2019) возросла почти в 1,5 раза — до 641 ч (значение в 2011–2015 гг. — 407 ч), особенно осенью. Увеличилась интенсивность штормов: средняя максимальная скорость составила (19 ± 3) м·с<sup>-1</sup>, максимальная продолжительность — 41 ч (см. табл. 4).

**Таблица 4.** Основные характеристики штормовых ветров (суммарное и максимальное количество штормов за месяц; средняя максимальная и максимальная измеренная скорость; суммарная и максимальная продолжительность штормов) за вегетационный период и сезоны 2011–2019 гг. по данным метеорологического мониторинга ЮВБ

**Table 4.** Key characteristics of storm winds (total and maximum number of storms *per* month; mean maximum and maximum measured speed; and total and maximum duration of storms) for the vegetation period and seasons of 2011–2019 according to meteorological monitoring data of the southeastern Baltic

Характеристика		2011–2019				2011–2015				2016–2019			
		IV–X	IV–V	VI–VIII	IX–X	IV–X	IV–V	VI–VIII	IX–X	IV–X	IV–V	VI–VIII	IX–X
Количество штормов	Σ	71	10	9	52	36	6	5	25	35	4	4	27
	<i>max</i>	7	2	2	7	5	2	2	5	7	2	2	7
Измеренная скорость, м·с <sup>-1</sup>	Ср.	16	14	15	18	15	14	14	17	18	14	16	19
	<i>max</i>	23	14	18	23	23	14	18	23	22	14	17	22
Продолжительность, ч	Σ	1343	150	162	1076	407	35	46	319	641	52	42	447
	<i>max</i>	220	24	18	179	29	20	17	29	41	13	17	41



Статистическое сравнение данных за два подпериода (2011–2015 и 2016–2019 гг.) не выявило значимых отличий ни по количеству штормов ( $F = 0,002$  при  $p = 0,96$ ), ни по измеренной скорости ( $F = 0,02$  при  $p = 0,96$ ), ни по продолжительности штормов ( $F = 0,28$  при  $p = 0,61$ ) ( $F$  критическое = 5,99). Можно считать период 2011–2019 гг. по этим показателям однотипным; различия в подпериодах несущественны.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В начале вегетационного сезона 2019 г. (апрель — май) сложились нетипичные гидрометеорологические условия. Синоптическая ситуация в апреле способствовала сгону водных масс в прибрежной части ЮВБ и резкому понижению уровня моря из-за ветров восточных румбов. По данным метеостанций, в апреле выпало минимальное количество осадков (г. Пионерский — 3,6 мм·мес.<sup>-1</sup>; г. Балтийск — 0,0 мм·мес.<sup>-1</sup>; пос. Нида — 0,0 мм·мес.<sup>-1</sup> (следы осадков); г. Клайпеда — 3,3 мм·мес.<sup>-1</sup>) (Погода в 243 странах мира, 2020). Из-за длительного дефицита осадков сток р. Преголи был минимальным, и лагуны ЮВБ обмелели (Килесо и Стонт, 2020). В начале мая, по данным сайта Sea Level Anomalies (2019), в восточной части Калининградского залива (устье р. Преголи) в результате прохождения штормового циклона с западными ветрами зарегистрирован нагон. На гидропосту Музея Мирового океана, расположенного на р. Преголе на 200 м ниже слияния двух рукавов реки, зафиксированы рост уровня на 50 см [(от -10 до +40 см БС (по Балтийской системе высот)] и смена направления потока р. Преголи («обратное» течение скоростью до 0,3 м·с<sup>-1</sup>). Солёность в приповерхностном слое увеличилась примерно в 5 раз (с 0,4 до 2,1 PSU).

В июне 2019 г. при прохождении двух атлантических циклонов ветер западных румбов усиливался до 14 м·с<sup>-1</sup>, что привело, вероятно, к нагону вод залива вверх по течению р. Преголи. Июнь отмечен как самый тёплый месяц 2019 г.: среднемесячная температура составила +20,4 °С (г. Балтийск) (Погода в 243 странах мира, 2020). Между тем обычно в Калининградском регионе самые высокие среднемесячные температуры воздуха характерны для июля — августа (Стонт и др., 2020а). Температура воды в реке в июне 2019 г. была выше почти на 5 °С среднемноголетних значений 1997–2002 гг. (Абрамов и Стонт, 2004). Эти метеорологические явления повлияли на низкий сток реки. Уровень в акватории ЮВБ за последние десятилетия значительно повысился (Стонт и др., 2020b). Повышение уровня рассматривалось как эвстатическое, оно было обусловлено увеличением входных расходов через Датские проливы вследствие усиления западной формы атмосферной циркуляции. Проведение берегоустроительных и дноуглубительных работ привело к расширению площади живого сечения реки, что при повышении уровня увеличивает расход реки (Сергеева, 2005). На распределение популяций зоопланктона сток рек в эстуарных зонах влияет значительно, чем другие параметры (температура, солёность, условия питания и хищничество) (Paturej, 2008 ; Peitsch et al., 2000).

Возрастание интенсивности и продолжительности штормов обуславливает увеличение объёма воды, поступающей из залива и канала в реку при нагонах (Сергеева, 2013). Число дней «обратного» течения в Преголе достигает 90 в год; наибольшие скорости регистрируют в осенние и зимние месяцы, однако и в июле были отмечены скорости до 0,4 м·с<sup>-1</sup> (Абрамов и Стонт, 2004). Общей закономерностью нагонных явлений в реках является проникновение планктонных организмов из залива или моря вверх по рекам (Paturej, 2008 ; Peitsch et al., 2000). В Преголе в осенний сезон значимый вклад в общую численность, биомассу и продуктивность зоопланктона вносят эвригаллинные рачки *E. affinis* и *Acartia* spp. (Полунина и др., 2018).

Значения прозрачности исследуемого участка реки в июне 2019 г. превышали среднемноголетние величины за период 1994–2005 гг. (Чубаренко, 2007), что связано, возможно, с прекращением работы некоторых расположенных на реке предприятий, в том числе

целлюлозно-бумажного завода. Более низкая прозрачность вод устья реки обусловлена значительным влиянием мутных вод Вислинского залива и канала. Воды в заливе имеют более высокие показатели взвешенного вещества (в среднем около  $30 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-1}$ ), чем в реке и море, а максимум взвеси приходится на июнь — июль (Чечко, 2006).

Максимальные показатели придонной солёности зафиксированы в июне 2019 г. в устье и на участке после слияния рукавов — 5,6 PSU. Повышение значений солёности до 4 PSU на этом участке реки было отмечено и в предыдущие годы исследований (1994–2005) в результате нагона морских вод (Чубаренко, 2007). В июле 2015 г. солёность на УПСР составила 2,2 PSU, а к устью реки увеличилась до 4,4 PSU (Лукашин и др., 2018). Нагонные явления в р. Преголе особенно значимы в осенний период, хотя они могут происходить и в летние месяцы, что наблюдали, вероятно, и в июне 2019 г. при прохождении двух активных циклонов с ветрами западных румбов.

В зоопланктоне исследуемого участка реки в июне 2019 г. отмечено 65 видов и таксонов более высокого ранга. Не выявлено сокращения числа видов зоопланктона при сравнении с данными 1996–2006 гг. (Полунина, 2013), когда число зарегистрированных видов составило ( $62 \pm 10$ ). Основу зоопланктона как в 2019 г., так и в период до масштабных гидротехнических работ на реке составляли планктонные ракообразные; особенности распределения по продольному профилю реки сохранились: в рукавах преобладали пресноводные циклопы, а на участке от слияния до устья — эвригалинный *E. affinis*. Общая численность и биомасса зоопланктона в рипали изменялись в пределах  $17,6\text{--}762 \text{ тыс. экз.}\cdot\text{м}^{-3}$  и  $278\text{--}1870 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  соответственно, в медиали —  $34\text{--}292 \text{ тыс. экз.}\cdot\text{м}^{-3}$  и  $254\text{--}5647 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  соответственно. Средняя численность и биомасса зоопланктона в июне 2019 г. [ $(136 \pm 111) \text{ тыс. экз.}\cdot\text{м}^{-3}$  и  $(860 \pm 840) \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  соответственно] были выше среднемноголетних июньских показателей в 1996–2006 гг., в период до трансформации русла [ $(71 \pm 66) \text{ тыс. экз.}\cdot\text{м}^{-3}$  и  $(664 \pm 337) \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  соответственно]. Отмечена высокая численность *E. affinis*, типичного обитателя вод Вислинского залива, на УПСР и в устье в июне 2019 г., что характерно для данных участков реки и было зафиксировано до трансформации русла (Полунина и др., 2018). Отличительной особенностью исследования 2019 г. стало присутствие этого вида в рукаве Н. Преголя, где он ранее не был зарегистрирован, согласно многолетним данным (1996–2006, 2011, 2014 гг.). Наличие этого вида в рукавах реки, а также значения солёности воды могут быть следствием нагонов из залива в рукав Н. Преголя.

Существенное влияние на нагоны вод в р. Преголю из залива оказывают частота и сила ветров западного направления, связанных со штормовыми циклонами. Известно, что в 1996–2010 гг. установлено снижение зимой силы (скорости) ветра и его зональной составляющей и незначительный рост летом и осенью (Абрамов и др., 2013). В начале XXI в. отмечена активизация штормовых процессов в ЮВБ, связанная с усилением западной формы атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой; она указана в ряде работ (Дроздов и Смирнов, 2011; Медведева и др., 2015). Штормовые процессы в осенне-зимний период типичны для акватории ЮВБ, в летний сезон штормы наблюдаются редко. При штормовых ветрах эффективного (ЮЗ — З) направления повышается вероятность нагонных явлений. Выявлено увеличение общей продолжительности штормов в 2016–2019 гг. почти в два раза по сравнению с таковой в 2011–2015 гг. Это привело к росту объёма воды, проникающей из залива в Преголю (Сергеева, 2005), и, соответственно, к поступлению зоопланктона из залива в реку.

В эстуарных зонах и в низовьях рек других районов Балтики отмечены изменение состава и структуры зоопланктона и рост количественных показателей планктона за счёт появления солоноватоводных и морских видов (Телеш, 2008; Paturej, 2008; Peitsch et al., 2000).

За вегетационные периоды 2011–2019 гг., по данным метеостанции г. Балтийска, установлено преобладание ветров западного направления. При сохранении доминирующей роли чисто

западного ветра (25 %) уменьшилась повторяемость юго-западного. В работе (Кустикова и Ахмедова, 2017) также зафиксировано изменение структуры направлений ветров в южной части Вислинского залива за 2007–2016 гг. (март — август).

Распределение видов зоопланктона по продольному профилю р. Преголи в значительной мере обусловлено стонно-нагонными явлениями, которые зависят от ветровых условий. Выявленное уменьшение совокупного влияния ветров эффективного направления с 38 % в 1998–2006 гг. (период до трансформации русла) до 30 % в 2011–2019 гг. не могло стать причиной существенно повышения частоты нагонов в реку. Несмотря на некоторое снижение повторяемости ветров западных румбов, отмечено увеличение в вегетационный период силы и частоты штормовых ветров эффективного направления. Выявлена положительная прямая корреляция между численностью эвригалинных рачков *E. affinis* и скоростью ветров западных направлений ( $R = 0,82$  при  $p = 0,05$ ). Уничтожение прибрежной растительности и бетонирование набережных в рукаве Н. Преголя могли способствовать беспрепятственному проникновению вверх по реке вод залива при нагонных явлениях.

#### **Выводы:**

1. После проведённых масштабных гидротехнических работ в нижнем течении р. Преголи в летнем зоопланктоне 2019 г. не выявлено сокращения числа видов. При этом отмечены некоторые структурные изменения. Обнаружены отдельные виды, обитающие в условиях повышенного содержания биогенных веществ и взвешенного вещества. Количественные показатели зоопланктона [численность ( $136 \pm 111$ ) тыс. экз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> и биомасса ( $860 \pm 840$ ) мг $\cdot$ м<sup>-3</sup>] измеримы с аналогичными данными до трансформации русла реки [( $71 \pm 66$ ) тыс. экз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> и ( $664 \pm 337$ ) мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно]. На участке реки от слияния рукавов до устья зарегистрированы нетипичные для летнего зоопланктона высокие значения численности и биомассы видов — обитателей залива *Eurytemora affinis* и *Acartia* spp., что ранее было характерно только для осеннего периода. В рукаве Н. Преголя в летний сезон эвригалинная калянида *E. affinis* отмечена впервые.
2. Статистически значимого изменения частоты ветров эффективного стонно-нагонного направления (ЮЗ — З) в 2011–2019 гг. (30 %) относительно 1996–2006 гг. (38 %) не выявлено. Отмечены высокая частота ветров западного направления и сила штормов в 2011–2019 гг., что повлияло на высоту нагонов, которые вызывают подпор воды, повышение уровня и затопки солоноватых вод из залива и канала в р. Преголю. Это способствовало распространению эвригалинного рачка *E. affinis* из Вислинского залива и канала вверх по течению реки. Отмечена высокая прямая положительная корреляция между численностью рачков и скоростью ветра. Увеличение силы ветров в совокупности с видоизменением поперечного профиля реки (бетонированием набережных, уничтожением зарослей макрофитов) повлияло на интенсивность поступления вод из залива в рукава реки при нагонных явлениях и стало важным фактором, обуславливающим распространение эвригалинных видов в рукавах реки в летний период.
3. В связи с тем, что в рукаве С. Преголя расположен основной городской водозабор, необходимо проводить наблюдения за распространением осолонённой воды из залива по продольному профилю р. Преголи в том числе с использованием зоопланктонных видов — индикаторов (*E. affinis* и *Acartia* spp.).

Отбор и обработка проб зоопланктона в 2019 г. выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Калининградской области по проекту № 19-45-390006; сбор метеоданных — по проекту № 19-45-390012. Анализ и интерпретация многолетних данных проведены в рамках государственного задания FMWE-2021-0012.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абрамов Р. В., Стонт Ж. И. «Витязь» и «Балтийская коса». *Погода и экологическая обстановка 1997–2002 гг. Данные лаборатории морской метеорологии* / отв. ред. Е. В. Краснов. Калининград : Изд-во Калининг. гос. ун-та, 2004. 307 с. [Abramov R. V., Stont Zh. I. "Vityaz" i "Baltiiskaya kosa". *Pogoda i ekologicheskaya obstanovka 1997–2002 gg. Dannye laboratorii morskoi meteorologii* / E. V. Krasnov (Ed.). Kaliningrad : Izd-vo Kalining. gos. un-ta, 2004, 307 p. (in Russ.)]
2. Абрамов Р. В., Гушин О. А., Навроцкая С. Е., Стонт Ж. И. Гидрометеорологический мониторинг побережья Юго-Восточной Балтики в 1996–2010 гг. // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2013. № 1. С. 54–61. [Abramov R. V., Gushchin O. A., Navrotskaya S. E., Stont Zh. I. Hydrometeorological monitoring at the south-east Baltic Sea coast in 1996–2010. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2013, no. 1, pp. 54–61. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-54-61>
3. Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных ракообразных // *Общие основы изучения водных экосистем* / под ред. Г. Г. Винберга. Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1979. С. 169–172. [Balushkina E. V., Vinberg G. G. Dependence between mass and body length in planktonic crustaceans. In: *Obshchie osnovy izucheniya vodnykh ekosistem* / G. G. Vinberg (Ed.). Leningrad : Nauka, Leningr. otd-nie, 1979, pp. 169–172. (in Russ.)]
4. *Биологические сообщества реки Преголя (бассейн Вислинского залива, Балтийское море)* / под ред. Е. Е. Ежовой. Калининград : Смартбукс, 2013. 246 с. [*Biologicheskie soobshchestva reki Pregolya (bassein Vislinskogo zaliva, Baltiiskoe more)* / E. E. Ezhova (Ed.). Kaliningrad : Smartbuchs, 2013, 246 p. (in Russ.)]
5. Домнин Д. А., Пилипчук В. А., Карманов К. В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // *Естественные и технические науки*. 2013. № 6. С. 206–211. [Domnin D. A., Pilipchuk V. A., Karmanov K. V. Formirovanie zatoka solonovatykh vod v lagunno-estuarnoi sisteme vodosbornogo basseina Vislinskogo zaliva i reki Pregoli v rezul'tate sgonno-nagonykh yavlenii. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 6, pp. 206–211. (in Russ.)]
6. Дроздов В. В., Смирнов Н. П. Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и её причины // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 5. С. 77–87. [Drozdov V. V., Smirnov N. P. Long-term changes of climate and hydrological regime in the Baltic region and their causes. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2011, no. 5, pp. 77–87. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.3103/S1068373911050086>
7. Ежова Е. Е., Цыбалева Г. А. Видовой состав и распределение макрозообентоса и зоопланктона в нижнем течении р. Преголя в летне-осенний период 1995 г. // *Экологические проблемы Калининградской области : сборник научных трудов / Калининградский университет. Калининград, 1997. С. 29–36. [Ezhova E. E., Tsybaleva G. A. Vidovoi sostav i raspredelenie makrozoobentosa i zooplanktona v nizhnem techenii r. Pregolya v letne-osennii period 1995 g. In: *Ekologicheskie problemy Kaliningradskoi oblasti : sbornik nauchnykh trudov / Kaliningradskii universitet. Kaliningrad, 1997, pp. 29–36. (in Russ.)]**
8. Килесо А. В., Стонт Ж. И. Некоторые аспекты изменчивости уровня Куршского залива (Юго-Восточная Балтика) при различных синоптических ситуациях // *Гидрометеорология и экология*. 2020. № 61. С. 494–506. [Kilesa A. V., Stont Zh. I. Some aspects of the water level variability of the Curonian Lagoon (South-Eastern Baltic) under various synoptic situations. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2020, no. 61, pp. 494–506. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.33933/2074-2762-2020-61-494-506>
9. Кустикова А. А., Ахмедова Р. Н. Результаты изучения ветрового режима Калининградского залива по станции Мамоново // *Вестник молодёжной науки*. 2017. № 1 (8). 5 с. [Kustikova A. A., Akhmedova R. N. Results regime wind in Kaliningrad gulf for st. Mamonovo. *Vestnik molodezhnoi nauki*, 2017, no. 1 (8), 5 p. (in Russ.)]



10. Лукашин В. Н., Кречик В. А., Клювиткин А. А., Стародымова Д. П. Геохимия взвешенного вещества в маргинальном фильтре реки Преголи (Балтийское море) // *Океанология*. 2018. Т. 58, № 6. С. 933–947. [Lukashin V. N., Krechik V. A., Klyuvitkin A. A., Starodymova D. P. Geochemistry of suspended particulate matter in the marginal filter of the Pregolya River (Baltic Sea). *Okeanologiya*, 2018, vol. 58, no. 6, pp. 933–947. (in Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.1134/S0030157418060102>
11. Медведева А. Ю., Архипкин В. С., Мысленков С. А., Зилитинкевич С. С. Волновой климат Балтийского моря на основе результатов, полученных с помощью спектральной модели SWAN // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2015. № 1. С. 12–22. [Medvedeva A. Yu., Arkhipkin V. S., Myslenkov S. A., Zilitinkevich S. S. Wave climate of the Baltic Sea following the results of the SWAN spectral model application. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2015, no. 1, pp. 12–22. (in Russ.)]
12. *Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоёмах. Зоопланктон и его продукция* / сост.: А. А. Салазкин, М. Б. Иванова, В. А. Огородников ; науч. ред.: Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Ленинград : Гос. НИИ озёрного и речного рыбного хоз-ва, 1984. 33 с. [Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnykh vodoemakh. *Zooplankton i ego produktsiya* / A. A. Salazkin, M. B. Ivanova, V. A. Ogorodnikov (Contrs); G. G. Vinberg, G. M. Lavrent'eva (Eds). Leningrad : Gos. NII ozernogo i rechnogo rybnogo khoz-va, 1984, 33 p. (in Russ.)]
13. Наумов В. А. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Максимальные расчётные уровни воды // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2015. Т. 1, № 3. С. 42–48. [Naumov V. A. Materials engineering and hydrometeorological research in the Pregel River basin. The maximum design water levels. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 42–48. (in Russ.)]
14. Полунина Ю. Ю. Зоопланктон р. Преголя // *Биологические сообщества реки Преголя (бассейн Вислинского залива, Балтийское море)* / под ред. Е. Е. Ежовой. Калининград : Смартбукс, 2013. С. 112–134. [Polunina Yu. Yu. Zooplankton r. Pregolya. In: *Biologicheskie soobshchestva reki Pregolya (bassein Vislinskogo zaliva, Baltiiskoe more)* / E. E. Ezhova (Ed.). Kaliningrad : Smartbuks, 2013, pp. 112–134. (in Russ.)]
15. Полунина Ю. Ю. Сезонный цикл развития зоопланктона нижнего течения реки Преголи // *Известия Калининградского государственного технического университета*. 2014. № 32. С. 39–46. [Polunina Yu. Yu. Sezonnii tsikl razvitiya zooplanktona nizhnego techeniya reki Pregoli. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 32, pp. 39–46. (in Russ.)]
16. Полунина Ю. Ю., Родионова Н. В., Цыбалева Г. А. Влияние гидрологических условий на формирование зоопланктона в нижнем течении реки Преголя (бассейн Балтийского моря) // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45, № 5. С. 537–545. [Polunina Y. Y., Rodionova N. V., Tsybaleva G. A. Effect of hydrological conditions on zooplankton formation in the lower reaches of the Pregolya R. (Baltic Sea basin). *Vodnye resursy*, 2018, vol. 45, no. 5, pp. 537–545. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0321059618050176>
17. *Погода в 243 странах мира* : [сайт]. [Pogoda v 243 stranakh mira : [site]. (in Russ.)]. URL: <http://www.rp5.ru> [accessed: 01.12.2020].
18. Сергеева Л. Г. Оценка возможного влияния строительства глубоководного морского порта на гидрологический режим Вислинской лагуны // *Балтийский альманах : научно-популярный сборник*. Калининград : Капрос, 2013. Вып. 12. С. 25–27. [Sergeeva L. G. Otsenka vozmozhnogo vliyaniya stroitel'stva glubokovodnogo morskogo porta na gidrologicheskii rezhim Vislinskoi laguny. *Baltiiskii al'manakh : nauchno-populyarnyi sbornik*. Kaliningrad : Kapros, 2013, iss. 12, pp. 25–27. (in Russ.)]
19. Сергеева Л. Г. Повышение уровня поверхности моря и температуры воздуха в юго-восточной части Балтийского моря как проявление глобальных процессов // *Безопасность мореплавания и надёжность судовых технических средств*. Санкт-Петербург, 2005. С. 180–185. [Sergeeva L. G. Povyshenie urovennoy poverkhnosti morya i temperatury vozdukhа v yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya kak proyavleniye globalnykh protsessov // *Bezopasnost' moreplavaniya i nadёzhnost' sudovykh tekhnicheskikh sredstv*. Sankt-Peterburg, 2005. С. 180–185. (in Russ.)]



- urovennoi poverkhnosti morya i temperatury vozdukhа v yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo morya kak proyavlenie global'nykh protsessov. In: *Bezopasnost' moreplavaniya i nadezhnost' sudovykh tekhnicheskikh sredstv*. Saint-Petersburg, 2005, pp. 180–185. (in Russ.)]
20. Стонт Ж. И., Буканова Т. В., Крек Е. В. Изменчивость климатических характеристик прибрежной части Юго-Восточной Балтики в начале XXI века // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки*. 2020а. Вып. 1. С. 81–94. [Stont Zh. I., Bukanova T. V., Krek E. V. *Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik pribrezhnoi chasti Yugo-Vostochnoi Baltiki v nachale XXI veka*. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2020a, iss. 1, pp. 81–94. (in Russ.)]
  21. Стонт Ж. И., Навроцкая С. Е., Чубаренко Б. В. Многолетние тенденции изменчивости гидрометеорологических характеристик в Калининградском регионе // *Океанологические исследования*. 2020b. Т. 48, № 1. С. 45–61. [Stont Zh. I., Navrotskaya S. E., Chubarenko B. V. *Long-term tendencies in variations of hydrometeorological characteristics in Kaliningrad Oblast*. *Okeanologicheskie issledovaniya*, 2020b, vol. 48, no. 1, pp. 45–61. (in Russ.)]. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48\(1\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(1).3)
  22. Телеш И. В. Видовое разнообразие и структура сообществ зоопланктона в эстуарии реки Невы // *Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы* / под ред. А. Ф. Алимова, С. М. Голубкова. Москва ; Санкт-Петербург : Тов-во науч. изд. КМК, 2008. С. 144–155. [Telesh I. V. *Vidovoe raznoobrazie i struktura soobshchestv zooplanktona v estuarii reki Nevy*. *Ekosistema estuariya reki Nevy: biologicheskoe raznoobrazie i ekologicheskie problemy* / A. F. Alimov, S. M. Golubkov (Eds). Moscow ; Saint-Petersburg : Tov-vo nauch. izd. KMK, 2008, pp. 144–155. (in Russ.)]
  23. Цыбалева Г. А., Потребич А. В. Изменение в структуре состава зоопланктона р. Преголи под влиянием загрязнения // *Некоторые аспекты физиологии и патологии гидробионтов* : сборник научных трудов. Калининград : Изд-во Калинингр. гос. ун-та, 1995. С. 69–76. [Tsybaleva G. A., Potrebich A. V. *Izmenenie v strukture* sostava zooplanktona r. Pregoli pod vliyaniem zagryazneniya. In: *Nekotorye aspekty fiziologii i patologii gidrobiontov* : sbornik nauchnykh trudov. Kaliningrad : Izd-vo Kaliningr. gos. un-ta, 1995, pp. 69–76. (in Russ.)]
  24. Чечко В. А. *Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря* : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.28. Калининград, 2006. 23 с. [Chechko V. A. *Protsessy sovremennogo osadkoobrazovaniya v Vislinskom zalive Baltiiskogo morya* : avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk : 25.00.28. Kaliningrad, 2006, 23 p. (in Russ.)]
  25. Чубаренко Б. В. Зонирование Калининградского залива и устьевого участка реки Преголи по показателям гидролого-экологического состояния в целях оптимизации мониторинга // *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна : проект подпрограммы «Исследования природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»*. Апатиты : Кольский научный центр им. С. М. Кирова, 2007. Вып. 2. С. 591–602. [Chubarenko B. V. *Zonirovanie Kaliningradskogo zaliva i ust'evogo uchastka reki Pregoli po pokazatelyam gidrologo-ekologicheskogo sostoyaniya v tselyakh optimizatsii monitoringa*. In: *Complex Investigations of Processes, Characteristics and Resources of Russian Seas of North European Basin : proekt podprogrammy "Issledovaniya prirody Mirovogo okeana" federal'noi tselevoi programmy "Mirovoi okean"*. Apatity : Kol'skii nauchnyi tsentr im. S. M. Kirova, 2007, iss. 2, pp. 591–602. (in Russ.)]
  26. Чубаренко Б. В., Шкурченко В. И. Физические механизмы проникновения солёных вод вверх по реке Преголе с учётом влияния рельефа дна // *Физические проблемы экологии (экологическая физика)* : сборник научных трудов / под ред. В. И. Трухина, Ю. А. Пирогова, К. В. Показеева. Москва : Изд-во физ. фак. МГУ, 2001. № 7. С. 80–88. [Chubarenko B. V., Shkurenko V. I. *Fizicheskie mekhanizmy proniknoveniya solenykh vod vverkh po reke Pregole s uchetom vliyaniya rel'efa dna*. In: *Fizicheskie problemy ekologii (ekologicheskaya fizika)* : sbornik nauchnykh trudov / V. I. Trukhin, Yu. A. Pirogov, K. V. Pokazeev (Eds). Moscow : Izd-vo fiz. fak. MGU, 2001, no. 7, pp. 80–88. (in Russ.)]

27. Dailidienė I., Davulienė L., Kelpšaitė B., Razinkovas A. Analysis of the climate change in Lithuanian coastal areas of the Baltic Sea. *Journal of Coastal Research*, 2012, vol. 28, no. 3, pp. 557–569. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00077.1>
28. Krechik V., Krek A., Bubnova E., Kapustina M. Mixing zones within the complex transitional waters of the Baltic Sea Vistula Lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 2020, vol. 34, art. no. 101023 (10 p.). <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.101023>
29. Paturej E. Estuaries – Types, role and impact on human life. *Baltic Coastal Zone. Journal of Ecology and Protection of the Coastline*, 2008, no. 12, pp. 21–37.
30. Peitsch A., Köpcke B., Bernát N. Long-term investigation of the distribution of *Eurytemora affinis* (Calanoida; Copepoda) in the Elbe Estuary. *Limnologica*, 2000, vol. 30, iss. 2, pp. 175–182. [http://dx.doi.org/10.1016/S0075-9511\(00\)80013-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0075-9511(00)80013-4)
31. *Sea Level Anomalies* : [site]. URL: <https://openadb.dgfi.tum.de/en/products/sea-level-anomalies> [accessed: 10.05.2019].
32. *Weather and Climate Change* : [official site]. URL: <https://www.metoffice.gov.uk> [accessed: 10.09.2020].

## WIND EFFECT ON ZOOPLANKTON DISTRIBUTION IN THE ESTUARY OF THE PREGOLYA RIVER (THE BALTIC SEA BASIN) AFTER TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF ITS RIVERBED

Ju. Ju. Polunina<sup>1</sup> and Zh. I. Stont<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

E-mail: [jul\\_polunina@mail.ru](mailto:jul_polunina@mail.ru)

In 2014–2018, large-scale hydrotechnical works were carried out in the estuary of the Pregolya River. The structural changes in the summer zooplankton in the river mouth in 2019 were revealed in comparison with the data obtained *prior* the riverbed transformation. In June 2019, zooplankton total abundance and biomass were of  $(136 \pm 111)$  thousand ind. $\cdot$ m<sup>-3</sup> and  $(860 \pm 840)$  mg $\cdot$ m<sup>-3</sup>, respectively. It is comparable with mean annual data of 1996–2006:  $(71 \pm 66)$  thousand ind. $\cdot$ m<sup>-3</sup> and  $(664 \pm 337)$  mg $\cdot$ m<sup>-3</sup>, respectively. In the summer of 2019, for the first time, the euryhaline species *Eurytemora affinis* inhabiting the Vistula Lagoon was recorded in the Novaya Pregolya branch. The presence of this species in the river branches, as well as the values of water salinity, may result from an increase in the frequency or intensity of water surges into the river from the Vistula Lagoon. In this regard, the wind conditions in 1998–2006 and 2011–2019 were analyzed. In 2011–2019, there was no increase in the frequency of winds acting along the effective surge direction (southwest and west ones) compared with those in 1996–2006. However, a rise in the frequency of storms was noted, *inter alia* in summer. Westerly storm winds cause upstream water inflow from the Vistula Lagoon and channel. Probably, the destruction of river macrophyte communities, concreting of embankments, and a change in the channel bottom configuration affected the intensity of water inflow from the lagoon into the river branches during surges and became the main factor affecting the distribution of euryhaline species from the lagoon in the river branches.

**Keywords:** zooplankton structure, surges, storm activity, wind direction, Pregolya River, Baltic Sea basin