© Александров С. В., Гусев А. А., Семенова А. С., 2023, Океанологические исследования, 2023, Том 51, № 1, С. 91–113

УДК 551.462.32 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).5

ПЛАНКТОННЫЕ И БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018–2019 гг.

С. В. Александров[1,2], А. А. Гусев[1,2], А. С. Семенова[1,3]

[1]Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО»,
Россия, 239029, Калининград, ул. Дм. Донского, д. 5,
e-mail: hydrobio@mail.ru;
[2]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36;
[3]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109

В ходе экспедиций, выполненных в июле 2018 и 2019 гг., получены данные по состоянию летних планктонных и бентосных сообществ на всей российской акватории в юго-восточной части Балтийского моря. Наибольший уровень обилия фитопланктона (по хлорофиллу «а») характерен для прибрежного района, где он достигал эвтрофного состояния и снижался в мористой зоне до мезотрофного состояния. Солоноватоводные условия были причиной развития небольшого числа видов в зоопланктоне (36 таксонов) и зообентосе (40 таксонов), среди которых отмечены виды-вселенцы (4 – в зоопланктоне и 6 – в бентосе). В зоопланктоне в глубоководной зоне доминировали веслоногие ракообразные, а в прибрежной – увеличивалась доля ветвистоусых ракообразных и коловраток. Численность и биомасса зоопланктона была близка к максимальным величинам, наблюдаемым в последние годы в юго-восточной Балтике. Наибольшее количество зоопланктона, и как следствие лучшие условия для питания рыб-планктофагов, наблюдались в районе от берега до глубин 40 м. В бентосе по численности доминировали полихеты и двустворчатые моллюски, по биомассе – двустворчатые моллюски. Гидрологические условия в российской зоне обуславливали развитие зообентоса на двух участках, разделенных котловиной Гданьской впадины, для которой характерны условия бентической «пустыни». Наибольший участок простирается от побережья до глубин 70–80 м, а второй – в глубоководной северо-западной части и приурочен к Гданьско-Готландскому порогу. Высокие численность и биомасса зообентоса характерны для Гданьского бассейна до глубин 60 м, где формируются благоприятные условия для питания бентосоядных рыб. Видовой состав беднее, а обилие зообентоса на Гданьско-Готландском пороге значительно ниже и находится под влиянием затоков североморских вод, в частности в 2019 г. отмечено увеличение численности и распространения бентоса как следствие затока североморских вод.

Ключевые слова: зоопланктон, зообентос, хлорофилл «а», пространственное распределение, трофическое состояние, Балтийское море

Введение

Балтийское море характеризуется специфической экосистемой, условия среды в которой (солоноватоводность, зоны гипоксии в придонном слое и др.) обуславливают низкое биоразнообразие относительно других морей и уязвимость к изменению

природных условий, загрязнению вод и другим воздействиям. В последние десятилетия в морской экосистеме наблюдались заметные структурные изменения в планктоне и бентосе, связанные с эвтрофикацией, «цветением» воды, биоинвазией, климатическими условиями, расширением зон гипоксии (Очерки..., 1984; HELCOM, 2013; Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). Российская акватория в Юго-Восточной Балтике расположена преимущественно в Гданьском бассейне, а на северо-западе Гданьско-Готландский порог отделяет его от соседней Готландской впадины. Условия среды под влиянием рельефа дна, поступления североморских вод, пресноводного стока, загрязнения с побережья отличаются пространственно-временной изменчивостью, что значительно влияет на планктонные и бентосные сообщества. Гданьский бассейн относится к районам с наибольшим уровнем эвтрофирования в Балтийском море, из-за сильной антропогенной нагрузки от крупных агломераций и стока крупнейших рек Балтийского моря (Висла, Неман). В летний период в Балтийском море наблюдаются «цветение» воды, обусловленное массовым развитием цианобактерий, и высокая первичная продукция (HELCOM, 2013; Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019), планктонные и бентосные сообщества также характеризуются высоким обилием и биологическим разнообразием (Aleksandrov et al., 2009; Klais et al., 2016; Гусев, 2020), что позволяет использовать данный период как индикаторный для оценки состояния экосистемы Балтийского моря.

Проведенные в июле 2018 и 2019 гг. гидробиологические исследования, полностью охватившие российскую акваторию в юго-восточной части Балтийского моря, позволили получить современные данные о степени эвтрофирования вод, уровне развития зоопланктона и зообентоса. При описании пространственной изменчивости было использовано предложенное для Гданьского бассейна (Andrulewicz et al., 2004) деление акватории на прибрежную зону с глубинами до 20 м и открытые морские районы. Влияние (включая загрязнение вод) со стороны прибрежной зоны на морские районы прослеживается до глубины 40 м. Глубже 40 м находится акватория с условиями исключительно открытого моря.

При описании состояния зообентоса также были учтены гидролого-гидрохимические условия. Наличие кислорода у дна – важнейший фактор, определяющий локализацию зон «бентической пустыни» (то есть участков дна, где отсутствует зообентос). В современный период эта зона в Гданьском бассейне расположена на глубинах более 70–80 м (Warzocha, 1995; Гусев, 2020). Для более глубоководного Гданьско-Готландского порога, расположенного на севере российской экономической зоны, благодаря течению из Слупского желоба в Готландский бассейн, характерно присутствие кислорода у дна и развитие бентосного сообщества на глубинах 80–100 м (Krek et al., 2021). При описании распределения зообентоса в российской зоне было выделено два района: участок 1, приуроченный к Гданьскому бассейну, от побережья до глубин 70–80 м, и участок 2 в районе Гданьско-Готландского порога с глубинами более 80 м (Gusev, Rudinskaya, 2014; Александров и др., 2021; Krek et al., 2021).

Материалы и методы

Исследования видового состава, численности и биомассы зоопланктона, зообентоса и концентрации хлорофилла «а» выполняли 24–30 июля 2018 г. и 13–20 июля 2019 г. в пределах российской акватории (территориальное море и ИЭЗ) в ходе экспедиций НИС «Академик Борис Петров» (рейсы № 43, 45). Пробы отобраны на 31 станции в 2018 г. и 33 – в 2019 г., координаты большинства станций совпадали и они располагались в диапазоне глубин от 8 до 108 м.

Для определения концентрации хлорофилла «а» пробы воды отбирали на 2–4 горизонтах (0–1 м, 10 м, над термоклином, над галоклином, придонный) и фильтровали объемом 0.2–0.7 л через фильтры «МФАС-МА-6» (диаметр пор – 0.3 мкм) с последующим измерением оптической плотности ацетоновой вытяжки на 4-х длинах волн (750, 664, 647, 630 нм) на спектрофотометре LEKI SS 2109 UV, согласно ГОСТ 17.1.04.02-90.

Пробы зоопланктона отбирали тотальным ловом от дна до поверхности сетью Джеди из газа № 70 (размер ячеи 64 мкм). На глубоководных станциях в июле 2019 г. был выполнен отбор проб по горизонтам, облавливали столб воды от дна, галоклина и термоклина. Пробы фиксировали четырехпроцентным раствором формалина. Камеральную обработку проб выполняли в счетной камере Богорова под бинокуляром МБС-10 (Telesh et al., 2015). При обработке большинство организмов идентифицировали до вида. Для расчета весовых характеристик использовали формулы зависимости длина–масса, или фигуру организма приравнивали к сходной геометрической фигуре.

Пробы макрозообентоса отбирали в тройной повторности дночерпателем Ван-Вина с площадью раскрытия 0.1 м^2 и глубиной проникновения в грунт 8–13 см. Пробы промывали через сито № 23 (размер ячеи 333 мкм) и затем фиксировали четырехпроцентным раствором формалина. Камеральную обработку проб выполняли под стереомикроскопом Olympus SZ51. После определения таксономической принадлежности животных подсчитывали и после обсушивания взвешивали.

Результаты и обсуждение

Хлорофилл «а»

В сезонной динамике развития фитопланктона Балтийского моря выделяется короткий весенний максимум (обычно в апреле), обусловленный интенсивным развитием динофитовых и диатомовых водорослей, когда концентрации хлорофилла «а» достигают максимальных величин. За ним следует длительный летний период интенсивного развития фитопланктона (июнь – сентябрь), который соответствует наибольшему прогреву воды и совпадает с массовым развитием синезеленых водорослей. Осенью и зимой происходит снижение обилия и продуктивности фитопланктона

(Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019; Kudryavtseva et al., 2019). Сезонные изменения отражаются на величине важнейшего из фотосинтетических пигментов фитопланктона – хлорофилла «а», определение которого служит общепризнанным методом оценки обилия фитопланктона и используется как ключевой индикаторный признак трофического статуса водоема (Wasmund et al., 2001; HELCOM, 2013).

Для Балтийского моря характерен градиент природных условий, определяющих развитие фитопланктона и, как следствие, концентрацию хлорофилла «а». В летний период наибольшие концентрации хлорофилла «а» отмечались у поверхности и варьировали в диапазоне 1.2–7.0 мг/м^3 в 2018 г. и 1.4–4.8 мг/м^3 в 2019 г. На глубине 10 м концентрации хлорофилла «а» уменьшались, изменяясь в диапазоне 0.8–4.9 мг/м^3 в 2018 г. и 0.7–3.8 мг/м^3 в 2019 г. Наибольшее снижение наблюдали на акватории с глубинами до 30 м, где, при прозрачности воды 2.5–3.5 м, фотический слой не превышал 10 м. Концентрации хлорофилла «а» (обилие фитопланктона) особенно сильно уменьшались на глубине 10 м в 2018 г. из-за массового развития синезеленых водорослей в поверхностном слое. В глубоководной зоне летний термоклин (на глубине 10–30 м) препятствовал вертикальному перемешиванию вод и фитопланктона, и над галоклином, и глубже у дна отмечались минимальные концентрации хлорофилла «а» (0.1–0.5 мг/м^3) (рисунок 1). Прозрачность воды, отражающая содержание в воде фитопланктона и взвешенных веществ, снижалась от глубоководных районов (в среднем 4.0–4.5 м) к прибрежной зоне (3.0 м), особенно в период интенсивного развития фитопланктона в 2018 г. (рисунок 1).

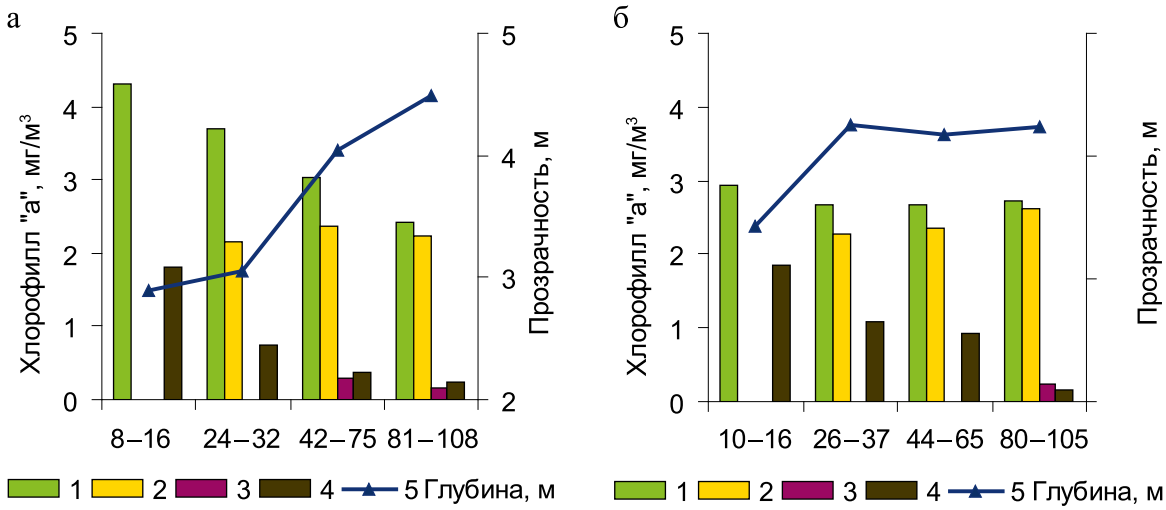

Рис. 1 – Распределение концентрации хлорофилла «а» по глубинам в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**) (1 – 0–1 м, 2 – 10 м, 3 – над галоклином, 4 – у дна, 5 – прозрачность воды)

Пространственное распределение хлорофилла «а», согласно предыдущим исследованиям (Kudryavtseva et al., 2011; Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019), характеризуется повышенными величинами в прибрежной зоне, где формируются более благоприятные гидрологические и гидрохимические условия для фитопланктона, и снижением в открытом море. Осреднение данных 2018–2019 гг. по батиметрическому принципу

(Andrulewicz et al., 2004) подтвердило эту закономерность. В 2018 г. в прибрежном районе (до глубины 20 м) отмечались наибольшие концентрации хлорофилла «а» в среднем 4.31 мг/м^3, которые снижались с удалением от берега и увеличением глубины в среднем до 3.70 мг/м^3 на глубинах 20–40 м и до 2.72 мг/м^3 в глубоководной зоне (более 40 м) (таблица 1, рисунок 1). По классификации трофического статуса вод Балтийского моря (Wasmund et al., 2001), в 2018 г. в прибрежном районе было эвтрофное состояние (хлорофилл «а» > 4.0 мг/м^3), что регулярно отмечается у калининградского побережья. По классификации качества вод Балтийского моря, хлорофилл «а» выше 4 мг/м^3 также соответствует акваториям, на которые влияет поступление загрязняющих веществ и периодически наблюдается «цветение» водорослей (Vuoristo, 1998). Мористее (глубже 20 м) уровень трофности вод снижался до мезотрофного состояния, что характерно для открытой акватории моря, в том числе для Гданьского бассейна (Wasmund et al., 2001; Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019).

Таблица 1 – Показатели обилия и продуктивности планктона и зообентоса

Показатель	Год	Глубины 0–20 м	Глубины 20–40 м	Глубины > 40 м
Хлорофилл «а», мг/м^3	2018	3.26 – 7.03 4.31 ± 0.49	2.95 – 4.08 3.70 ± 0.16	1.24 – 5.06 2.72 ± 0.26
	2019	1.57 – 3.94 2.94 ± 0.36	2.08 – 3.22 2.66 ± 0.15	1.40 – 4.80 2.70 ± 0.29
Численность зоопланктона, тыс. экз./м^3	2018	65.6 – 247.5 151.8 ± 25.8	19.6 – 112.3 56.9 ± 14.1	7.5 – 373.4 74.8 ± 21.5
	2019	14.0 – 141.6 71.7 ± 17.5	19.5 – 439.2 207.7 ± 46.9	3.3 – 399.5 68.3 ± 25.9
Биомасса зоопланктона, г/м^3	2018	0.32 – 2.47 1.35 ± 0.32	0.09 – 0.87 0.47 ± 0.14	0.06 – 3.92 0.79 ± 0.21
	2019	0.08 – 1.54 0.52 ± 0.18	0.06 – 5.19 2.03 ± 0.71	0.03 – 2.19 0.46 ± 0.15
Численность зообентоса, экз./м^2	2018	977 – 3777 2323 ± 349	727 – 2083 1587 ± 190	0 – 3280 616 ± 47
	2019	1740 – 9767 5079 ± 1054	1687 – 3737 2890 ± 261	0 – 3177 914 ± 60
Биомасса зообентоса, г/м^2	2018	10.0 – 141.1 46.6 ± 17.1	41.4 – 164.1 85.0 ± 20.0	0 – 230.7 38.3 ± 1.6
	2019	14.1 – 93.8 37.9 ± 11.6	17.2 – 77.7 49.2 ± 8.7	0 – 129.6 25.8 ± 0.7

Примечание: в числителе – пределы, в знаменателе – среднее и ошибка средней.

Пространственные изменения концентрации хлорофилла «а» в 2019 г. были менее выражены, но средние концентрации хлорофилла «а» в прибрежном районе были выше, чем мористее (таблица 1, рисунок 1). Такая зональность характерна для юго-восточной части Балтийского моря, в частности для Гданьского бассейна, где интенсивное развитие водорослей в прибрежной зоне определяется природными условиями и загрязнением, поступающим с побережья и со стоком рек Неман и Висла (Kudryavtseva et al., 2019).

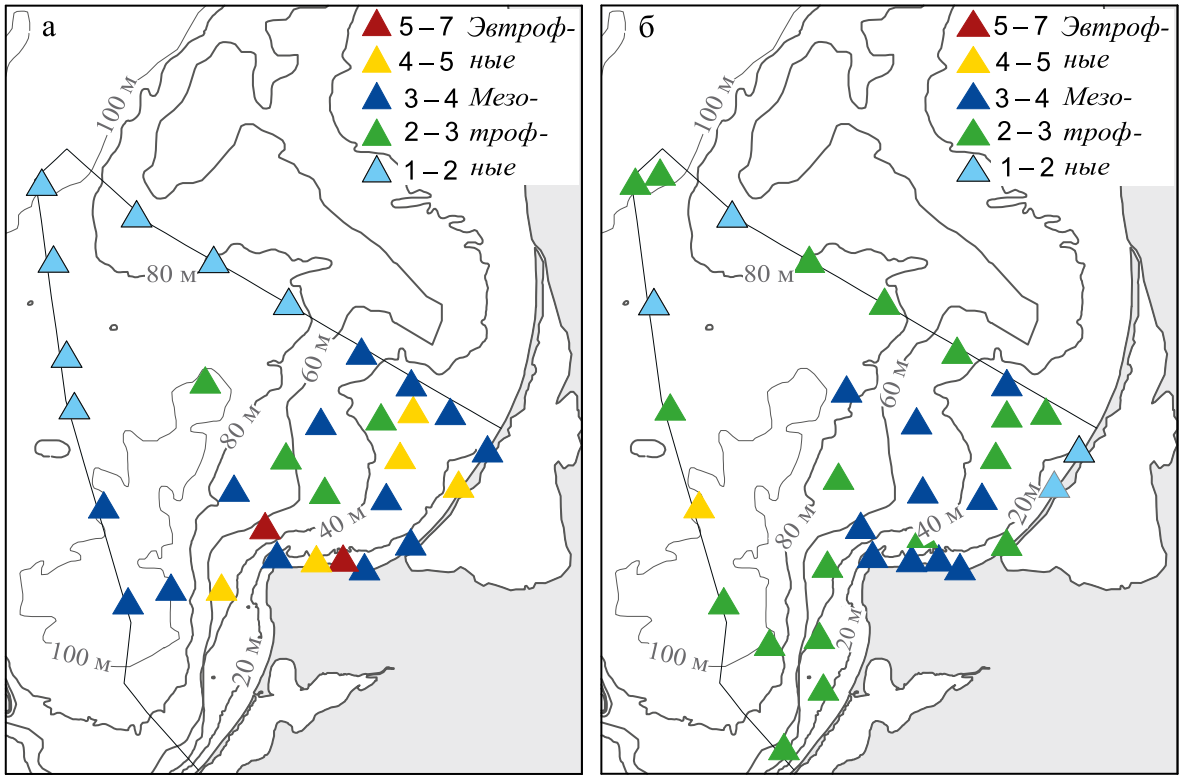

Рис. 2 – Пространственное распределение концентрации хлорофилла «а» (мг/м^3) в поверхностном слое в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**)

Под влиянием гидрологических и гидрохимических условий (прогрев вод, концентрации биогенных элементов, апвеллинг и др.), наблюдается межгодовая изменчивость развития фитопланктона, которая особенно сильно сказывается на акваториях с небольшими глубинами (Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019). В 2019 г. средние концентрации хлорофилла «а» в прибрежном районе и мористее на глубинах 20–40 м были в 1.5 раза ниже, чем в 2018 г. Для района с глубинами более 40 м концентрации хлорофилла «а» (средние и диапазон изменчивости) в 2018 и 2019 гг. были аналогичны (таблица 1), как следствие более стабильных условий среды в открытом море, что подтверждает обоснованность деления Гданьского бассейна по батиметрическому принципу (Andrulewicz et al., 2004).

Наименьшие величины (менее 2 мг/м^3) были в северной части акватории, расположенной в условиях открытого моря, но также локально могли наблюдаться в прибрежной зоне. Согласно предыдущим исследованиям, несмотря на высокий уровень первичной продукции и концентрации хлорофилла вдоль береговой зоны, у Куршской косы в районе п. Рыбачий отмечается снижение этих показателей, что обусловлено влиянием ускорения вдольбереговых течений («эффект порога») и периодическим подъемом холодных вод, что негативно сказывается на летних видах фитопланктона, включая синезеленые водоросли (Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019). Подобная ситуация была зафиксирована в июле 2019 г. севернее п. Рыбачий, где концентрации хлорофилла «а» составляли 1.6–1.9 мг/м^3.

Полученные в 2018–2019 гг. средние величины хлорофилла «а» в трех выделенных по батиметрическому принципу районах: прибрежный (2.9–4.3 мг/м^3), мористый до глубин 40 м (2.7–3.7 мг/м^3) и глубоководный (2.7 мг/м^3) соответствовали среднемноголетним данным (2003–2015 гг.) для этих районов (3.5; 3.4; 3.0 мг/м^3) (Kudryavtseva, Aleksandrov, 2019), что свидетельствует о достаточной стабильности фитопланктона, формирующего трофическую основу для зоопланктона и бентоса в российской зоне юго-восточной части Балтийского моря.

В июле 2018 и 2019 гг. концентрации хлорофилла «а» на значительной части российской акватории, за исключением удаленной от берега глубоководной зоны, превышали целевое значение (менее 2.19 мг/м^3 для лета в Гданьском бассейне), предусмотренное Планом действия по Балтийскому морю для достижения «хорошего экологического статуса» (HELCOM, 2013). В 2019 г., когда отмечалось интенсивное развитие фитопланктона, от берега до изобат 30–40 м концентрации хлорофилла «а» более, чем в 2 раза, превышали целевое значение. Это свидетельствует о том, что для юго-восточной части Балтийского моря существует проблема повышенного уровня эвтрофирования вод в прибрежной зоне как следствие биогенной нагрузки с берега, в том числе как результат хозяйственного и рекреационного использования приморских акваторий.

Зоопланктон

В зоопланктоне Балтийского моря, в том числе в юго-восточной части, наиболее важную роль играют 3 таксономические группы: ветвистоусые (Cladocera) и веслоногие (Copepoda) ракообразные и коловратки (Rotifera). Из-за низкой солености таксономический состав обеднен. В период исследования отмечено 36 видов и таксонов более высокого ранга (31 – в июле 2018 г. и 35 – в июле 2019 г.), характерных для лета (Очерки…, 1984; Aleksandrov et al., 2009; Telesh et al., 2009, 2015; Полунина, Родионова, 2017). Наибольшее число видов было отмечено для веслоногих (9 – в 2018 г. и 12 – в 2019 г.), а также для ветвистоусых (по 7 видов) ракообразных и коловраток (по 5 видов). Также присутствовали науплии усоногих ракообразных, велигеры моллюсков *Macoma balthica* и *Rangia cuneata*, ряд других видов меропланктона и медузы *Aurelia aurita*.

В июле 2018 г. больше видов было в прибрежной зоне с глубинами до 20 м (26 видов), а в июле 2019 г. – на станциях с глубинами выше 40 м (29 видов), но в целом видовое разнообразие в разных батиметрических зонах было на близком уровне – в пределах 22–29 видов. В зоопланктоне присутствовали 4 вида-вселенца: хищные ветвистоусые ракообразные *Cercopagis pengoi* и *Evadne anonyx*, массовое развитие которых обычно происходит в июле – августе при наибольшем прогреве воды (Полунина, Родионова, 2017), а также *Acartia tonsa* и велигеры моллюска вселенца *Rangia cuneata*. В июле 2019 г. в глубоководной зоне в северной части района отмечены виды-индикаторы затока североморских вод *Oithona similis* и *Triconia borealis* (Очерки…, 1984; Telesh et al., 2015), из них *Oithona similis* присутствовала ниже галоклина.

В оба года среди доминирующих видов были веслоногие ракообразные *Acartia* spp., *Centropages hamatus, Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis,* ветвистоусые ракообразные *Cercopagis pengoi, Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Evadne nordmanni*, коловратки *Keratella quadrata* и науплии веслоногих ракообразных. В прибрежной зоне с глубинами до 20 м массово развивались *Acartia bifilosa* и науплии усоногих ракообразных, а в 2019 г. на глубинах больше 40 м – *Evadne nordmanni*. Доля доминирующих видов изменялась по районам: на небольших глубинах было больше *Keratella quadrata*, *Acartia* spp., *Cercopagis pengoi*, а в глубоководном районе доминировали *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Temora longicornis, Centropages hamatus Pseudocalanus elongatus*. Наблюдались также межгодовые различия: в 2018 г. была выше доля *Acartia* spp., *Temora longicornis, Centropages hamatus Pseudocalanus elongatus,* а в 2019 г. увеличивалась доля *Keratella quadrata*, *Cercopagis pengoi* и науплиев веслоногих ракообразных. Состав комплекса доминирующих видов и их распределение по разным глубинам были характерны для юго-восточной части Балтийского моря (Очерки…, 1984; Aleksandrov et al., 2009; Telesh et al., 2015; Klais et al., 2016; Полунина, Родионова, 2017; Александров и др., 2019, 2021). В целом, в июле 2018 г. в зоопланктоне была выше доля крупноразмерных веслоногих ракообразных, а в июле 2019 г. – теплолюбивых видов коловраток и ветвистоусых ракообразных, также особенностью 2019 г. была массовая встречаемость на глубинах более 20 м ряда видов, обычно приуроченных к прибрежной зоне.

В глубоководном районе было изучено вертикальное распределение видов при отборе в слоях до термоклина (до 25–50 м) и до галоклина (до 75 м) и во всем столбе воды (до 68–105 м), которое показало, что доминирующие виды *Keratella quadrata*, *Centropages hamatus* и науплии веслоногих ракообразных были относительно равномерно распределены в столбе воды. Ряд видов: *Bosmina (Eubosmina) coregoni, Pleopis polyphaemoides, Acartia* spp. и велигеры *Macoma balthica* были сосредоточены в поверхностном слое до термоклина, а ниже термо- и галоклина возрастала доля веслоногих ракообразных *Temora longicornis* и *Pseudocalanus elongatus*.

Межгодовая динамика характеризовалась доминированием в июле 2018 г. на всех глубинах по численности и биомассе веслоногих ракообразных. Субдоминантами в прибрежном районе (глубины < 20 м) и в более мористой зоне (глубины 20–40 м) по численности были коловратки (16–25 % численности зоопланктона), по биомассе – ветвистоусые ракообразные (31–33 % биомассы) (рисунок 3). В июле 2019 г. от берега до глубины 40 м по численности доминировали коловратки, а глубже – веслоногие ракообразные. По биомассе в прибрежном районе (до глубин 20 м) в равной доле доминировали веслоногие и ветвистоусые ракообразные, мористее – ветвистоусые ракообразные, а в глубоководном районе – веслоногие ракообразные.

В целом пространственное распределение зоопланктона отражало возрастание в прибрежном районе доли коловраток, усоногих и ветвистоусых ракообразных и двустворчатых моллюсков, тогда как в глубоководном районе – доли веслоногих ракообразных в численности и биомассе. На отдельных станциях с глубинами более 20 м большую долю от биомассы (до 21–88 %) формировали стрекающие (Cnidaria), составляя лишь до 0.03 % от численности зоопланктона.

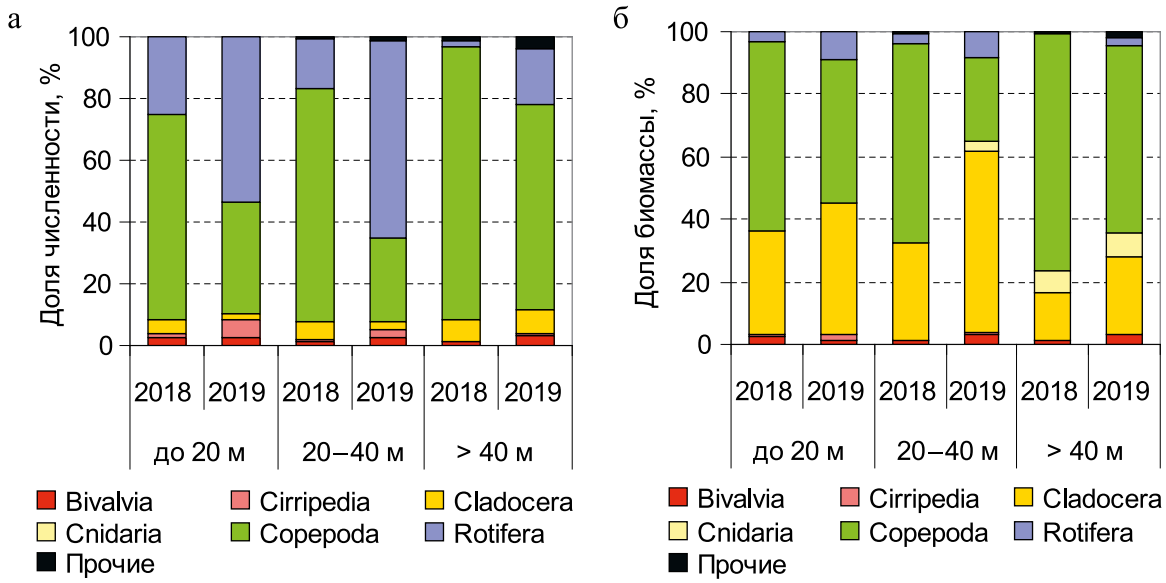

Рис. 3 – Доля основных таксономических групп в численности (**а**) и биомассе (**б**) зоопланктона в разных батиметрических зонах в 2018 г. и 2019 г.

Для всего района исследований доминировали веслоногие ракообразные, составляя в июле 2018 г. 81 % численности и 70 % биомассы зоопланктона, в июле 2019 г. их доля снижалась до 51 % и 49 % (рисунок 4). Коловратки в июле 2018 г. составляли 10 %, а в июле 2019 г. их доля возросла до 37 % численности. Ветвистоусые ракообразные в июле 2018 г. формировали 23 %, в июле 2019 г. – 36 % биомассы зоопланктона. Доля других групп была незначительна (до 5 % и менее общей численности и биомассы зоопланктона).

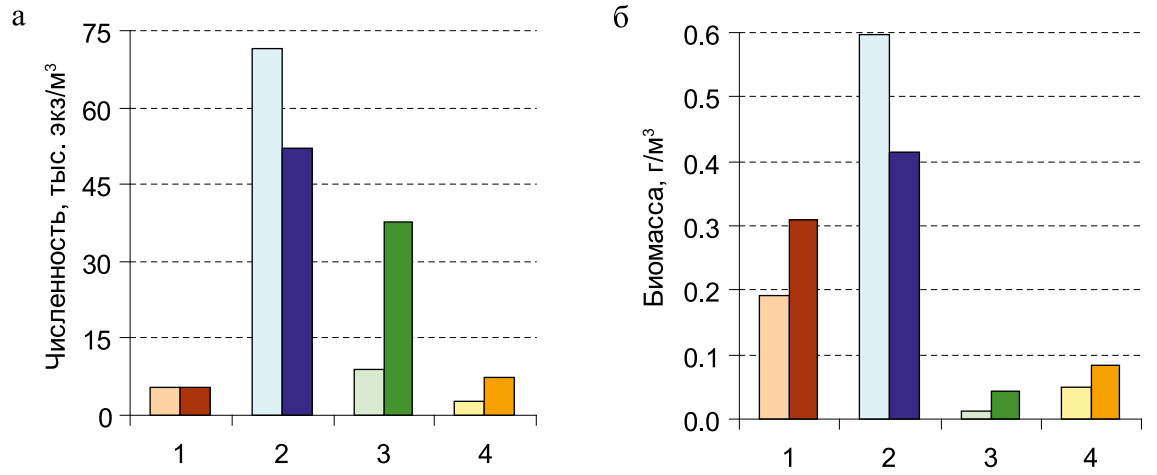

Рис. 4 – Численность (**а**) и биомасса (**б**) основных групп зоопланктона в Гданьском бассейне в июле 2018 г. и 2019 г. (1 – Cladocera; 2 – Copepoda; 3 – Rotifera; 4 – прочие)

Более массовое развитие веслоногих ракообразных в глубоководной зоне и увеличение доли коловраток и ветвистоусых ракообразных у берега характерно для летнего периода (Очерки…, 1984; Aleksandrov et al., 2009; Klais et al., 2016; Полунина,

Родионова, 2017). Возрастание обилия коловраток и ветвистоусых ракообразных в июле 2019 г. может свидетельствовать о более высоком прогреве воды, что характерно для Балтийского моря (Plinski et al., 2003).

Проведенные исследования показали достаточно близкое количественное развитие зоопланктона в оба года. В июле 2018 г. численность в районе исследований изменялась от 7.5 до 373.4 тыс. экз./м^3, биомасса (без медуз) – от 0.06 до 3.93 г/м^3, составляя в среднем 88.7 тыс. экз./м^3 и 0.85 г/м^3. В июле 2019 г. численность варьировала от 3.3 до 439.2 тыс. экз./м^3, биомасса (без медуз) – от 0.03 до 5.19 г/м^3, составляя в среднем 102.8 тыс. экз./м^3 и 0.85 г/м^3. В июле 2019 г. численность зоопланктона была выше за счет более массового развития мелкоразмерных коловраток, при равной биомассе зоопланктона.

Обилие зоопланктона в разные годы отмечается в различных районах, что связано с еще недостаточно изученным формированием оптимальных условий (температурных, трофических). В частности, максимальная численность и биомасса зоопланктона в 2018 г. отмечалась в прибрежном районе (глубины до 20 м), а в 2019 г. мористее (глубины 20–40 м). Минимальная численность и биомасса в июле 2018 г. были на глубинах 20–40 м, а в июле 2019 г. – в глубоководном районе (таблица 1, рисунки 5, 6, 8).

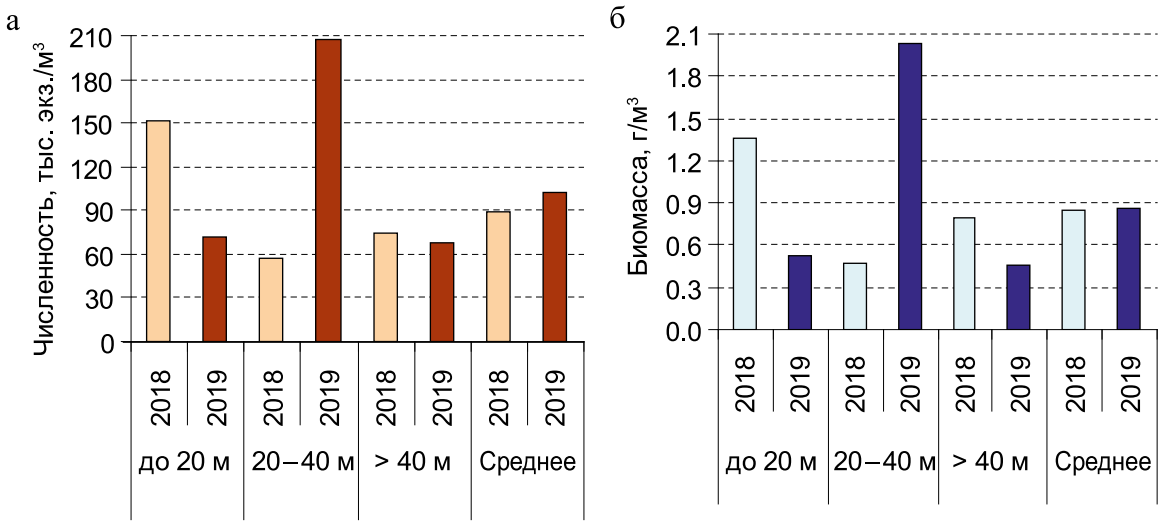

Рис. 5 – Численность (**а**) и биомасса (**б**) зоопланктона на разных глубинах

Наибольшее обилие зоопланктона и, следовательно, лучшие условия питания рыб-планктофагов были вдоль всего побережья до глубин 40 м (рисунки 6, 7).

Численность и биомасса зоопланктона были близки к максимальным величинам, наблюдаемым в последние годы в Юго-Восточной Балтике. Положительный тренд температуры воды в последние десятилетия в этом районе создает благоприятные условия для интенсивного развития наиболее многочисленных теплолюбивых и эвритермных представителей ветвистоусых (*Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Evadne nordmanni*) и веслоногих (*Temora longicornis, Centropages hamatus,* виды р. *Acartia*) ракообразных.

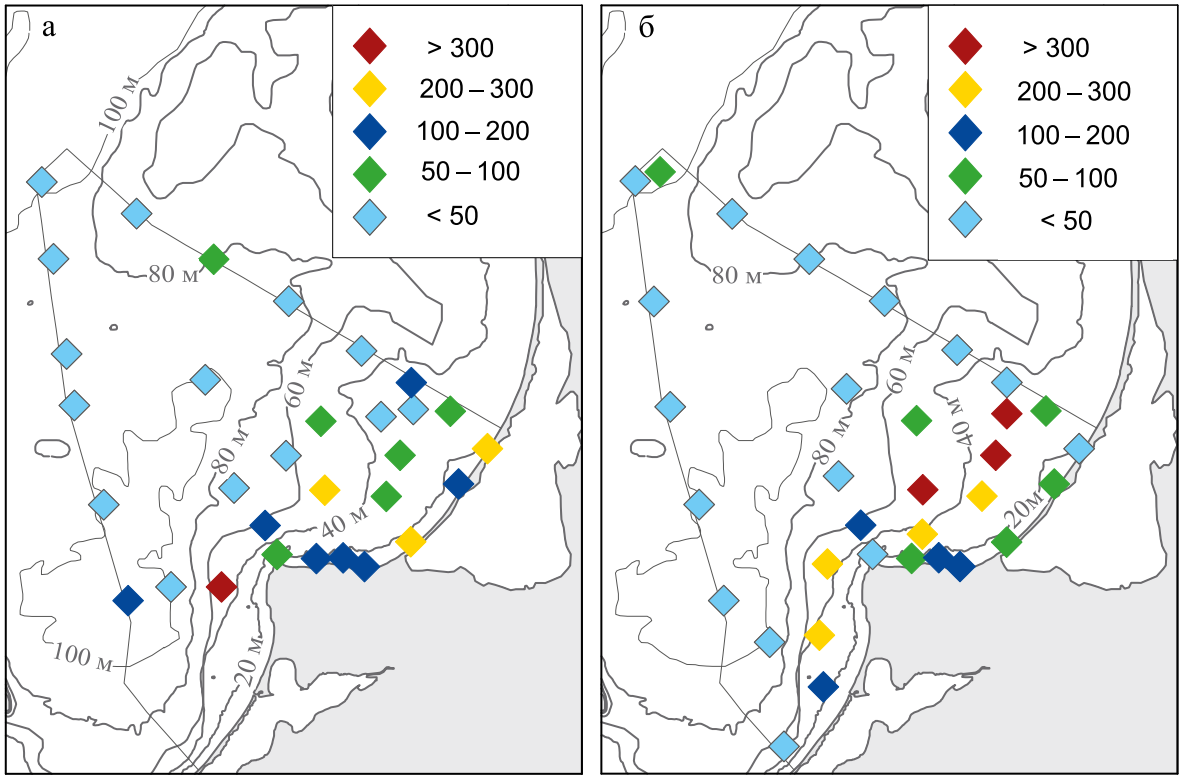

Рис. 6 – Пространственное распределение численности зоопланктона (тыс. экз./м^3) в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**)

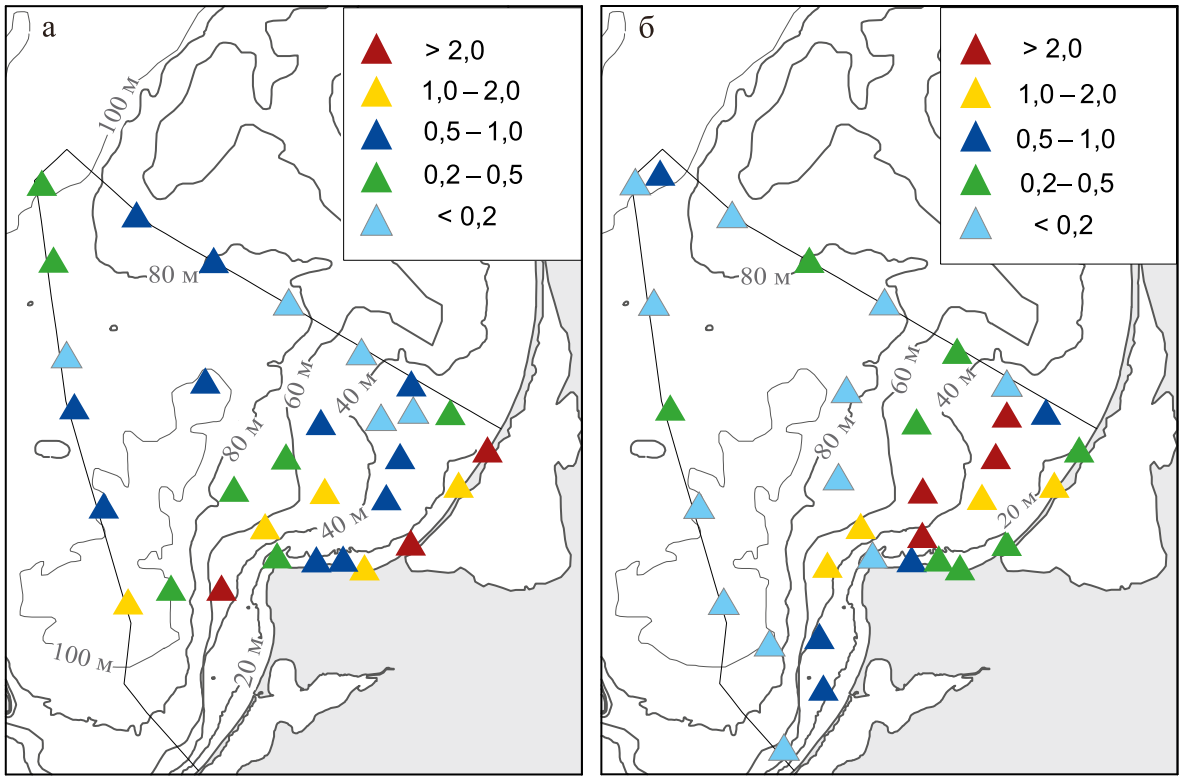

Рис. 7 – Пространственное распределение биомассы зоопланктона (г/м^3) в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**)

Наибольшие численность и биомасса зоопланктона наблюдаются в летний период при интенсивном прогреве воды, а летний уровень развития зоопланктона определяет среднегодовые показатели (Aleksandrov et al., 2009; Klais et al., 2016; Полунина, Родионова, 2017).

Зообентос

Зообентос Балтийского моря сформирован под влиянием солоноватоводных условий, что определяет относительно низкое видовое разнообразие (Olenin, 1997; Warzocha, 1995). В пределах российских вод в 2018–2019 гг. найдено 40 таксонов зообентоса (34 – в 2018 г. и 35 – в 2019 г.). Среди них 36 идентифицированы до вида, а 4 относились к таксонам более высокого систематического ранга (*Gammarus, Marenzelleria*, *Mytilus, Oligochaeta*). Высшие раки были представлены 12-ю таксонами, полихеты – 8-ю, двустворчатые моллюски – 7-ю таксонами. Обнаружено 6 видов-вселенцев: высший рак *Rhithropanopeus harrisii*, двустворчатые моллюски *Mya arenaria*, *Rangia cuneata*, полихеты *Marenzelleria* spp., *Boccardiella ligerica*, усоногий рак *Amphibalanus improvisus*. Список видов соответствует данным, полученным для этого района ранее (Гусев, Рудинская, 2017; Александров и др., 2019; Krek et al., 2021).

В **Гданьском бассейне (участок 1)** обнаружено 37 таксонов зообентоса, в том числе в 2018 г. и 2019 г. встречено по 33 таксона. Полихеты и двустворчатые моллюски были доминирующими группами зообентоса по численности, а по биомассе преобладали двустворчатые моллюски (рисунок 8). В 2019 г. в общей численности отмечено снижение доли двустворчатых моллюсков с 37 % до 29 %, при увеличении доли полихет с 42 до 57 %. Одновременно биомасса двустворчатых моллюсков снизилась с 89 % до 80 %, при увеличении доли полихет с 7 % до 16%.

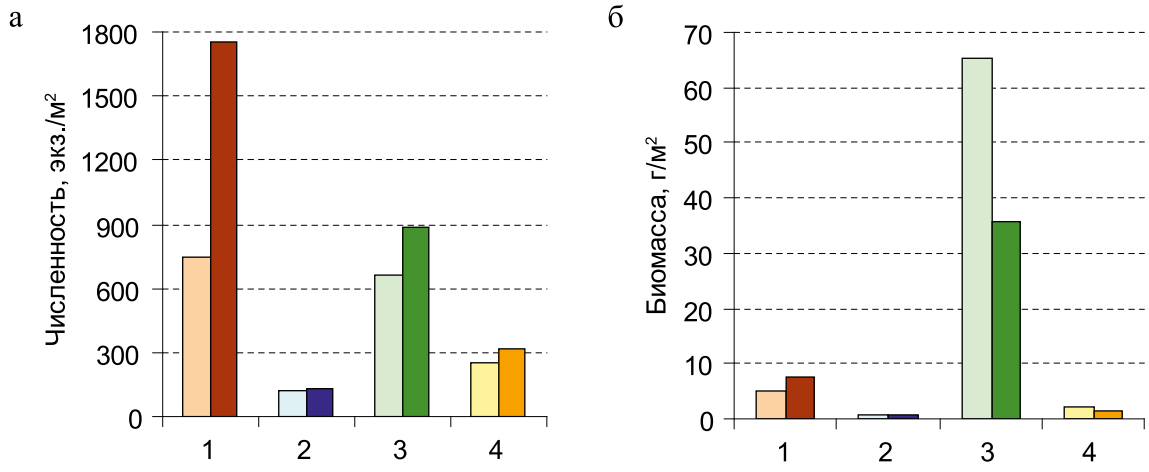

Рис. 8 – Численность (**а**) и биомасса (**б**) основных групп зообентоса в Гданьском бассейне в июле 2018 г. и 2019 г. (1 – Polychaeta; 2 – Malacostraca; 3 – Bivalvia; 4 – прочие)

Согласно предыдущим исследованиям, в данном районе в зообентосе доминируют полихеты *Marenzelleria* spp., двустворчатые моллюски *Macoma balthica* и *Mytilus* spp. (Гусев, 2020). Численность *Marenzelleria* spp. в 2019 г. (1106 экз./м^2) возросла по сравнению с 2018 г. (390 экз./м^2) в 2.8 раза и приблизилась к среднемноголетней величине за 2008–2017 гг. (1442 экз./м^2). Биомасса *Marenzelleria* spp. в 2019 г. (4.50 г/м^2) увеличилась по сравнению с 2018 г. (2.82 г/м^2) в 1.6 раза и значительно превысила среднемноголетнюю величину (2.54 г/м^2) (рисунок 9).

Численность *Macoma balthica* в 2018 г. (223 экз./м^2) была на среднемноголетнем уровне за 2008–2017 гг. (299 экз./м^2), а в 2019 г. увеличилась в 2.3 раза до 694 экз./м^2 за счет успешного пополнения молодью в 2019 г. Биомасса этого вида в 2018 и 2019 гг. была приблизительно на одном уровне (26.13 и 23.86 г/м^2), сопоставимом со среднемноголетними данными (21.83 г/м^2).

Численность и биомасса *Mytilus* spp. характеризовались максимальными величинами в 2018 г. (226 экз./м^2 и 34.80 г/м^2), после чего значительно уменьшились в 2019 г. (92 экз./м^2 и 7.83 г/м^2) и были ниже среднемноголетних величин за 2008–2017 гг. (162 экз./м^2 и 13.63 г/м^2). Такое уменьшение в 2019 г. могло быть обусловлено активной штормовой деятельностью в осенне-зимний период 2018–2019 гг., которая, возможно, негативно влияет на поселения мидий на глубинах менее 30 м (Гусев, 2020).

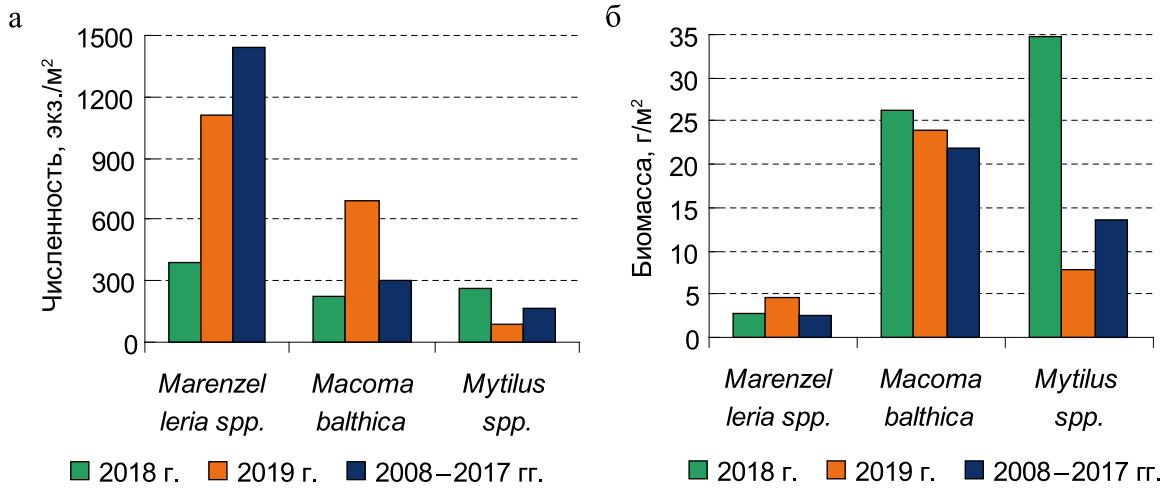

Рис. 9 – Численность и биомасса доминирующих видов зообентоса в Гданьском бассейне в июле 2018 г., в июле 2019 г. и в среднем в 2008–2017 гг.

Численность зообентоса в 2019 г. (в среднем 3085 экз./м^2) увеличилась в 1.7 раза по сравнению с 2018 г. (1782 экз./м^2), прежде всего за счет полихет *Marenzelleria* spp. Биомасса в 2019 г. (45.1 г/м^2) снизилась в 1.6 раза по сравнению с 2018 г. (73.4 г/м^2) в основном за счет моллюсков *Mytilus* spp. Сравнение с данными за период после 2008 г., когда произошел режимный «сдвиг», показало, что в период 2008–2017 гг. численность и биомасса колебались в разные годы в пределах 984–6835 экз./м^2 и 31.6–74.3 г/м^2, составляя в среднем 2941 экз./м^2 и 45.6 г/м^2 (Гусев, 2020). В 2018 г. численность зообентоса была в 1.7 раза ниже,

а биомасса – в 1.6 раза выше среднемноголетней величины. В 2019 г. средние значения численности и биомассы были на уровне 2008–2017 гг.

В 2018 г. в прибрежном районе (глубины до 20 м) численность зообентоса была в среднем 2323 экз./м^2, что соответствует среднему уровню (2500–5000 экз./м^2), а в 2019 г. увеличилась вдвое – до 5079 экз./м^2 и достигла высокого уровня (5000–10000 экз./м^2) (таблица 1, рисунок 10). Мористее на глубинах 20–40 м численность в 2018 г. была 1587 экз./м^2, соответствуя низкому уровню (1000–2500 экз./м^2), а в 2019 г. увеличилась вдвое (2890 экз./м^2) до среднего уровня.

Биомасса зообентоса в прибрежном районе в 2018 г. была в среднем 46.6 г/м^2, а в 2019 г. снизилась до 37.9 г/м^2, соответствуя среднему уровню (25–50 г/м^2). Мористее на глубинах 20–40 м биомасса зообентоса увеличивалась. В 2018 г. она была 85.0 г/м^2, соответствуя высокому уровню (50–100 г/м^2), а 2019 г. уменьшилась почти вдвое (49.2 г/м^2) до среднего уровня (таблица 1, рисунок 11).

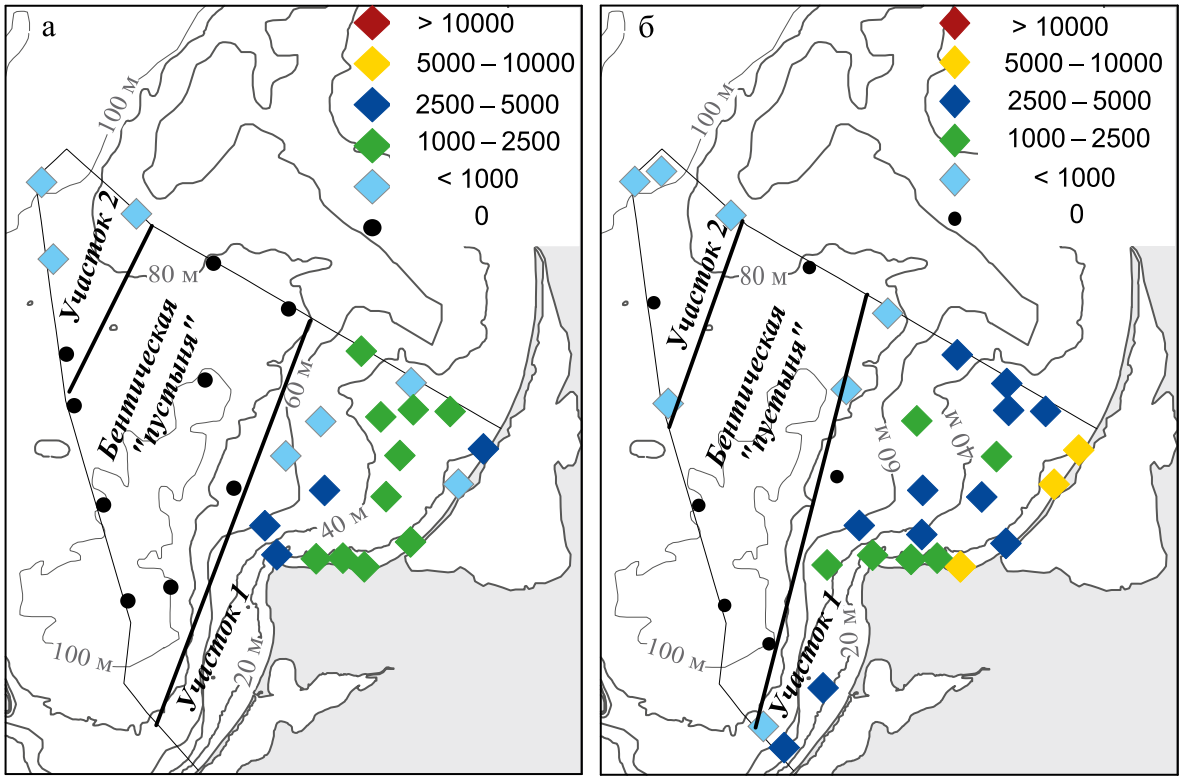

Рис. 10 – Пространственное распределение численности макрозообентоса (экз./м^2) в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**) (Гданьский бассейн – участок 1 и бентическая «пустыня», Гданьско-Готландский порог – участок 2)

На глубинах от 40 до 60 м наблюдалась максимальная биомасса зообентоса, которая в 2018 г. в среднем составляла 126.2 г/м^2, соответствуя очень высокому уровню (> 100 г/м^2), а в 2019 г. снизилась до 68.7 г/м^2. Локально, из-за интенсивного развития двустворчатых моллюсков, биомасса достигала 130–230 г/м^2. При этом численность в 2018 и 2019 гг. была в среднем 1972 и 2322 экз./м^2, соответствуя низкому уровню (1000–2500 экз./м^2).

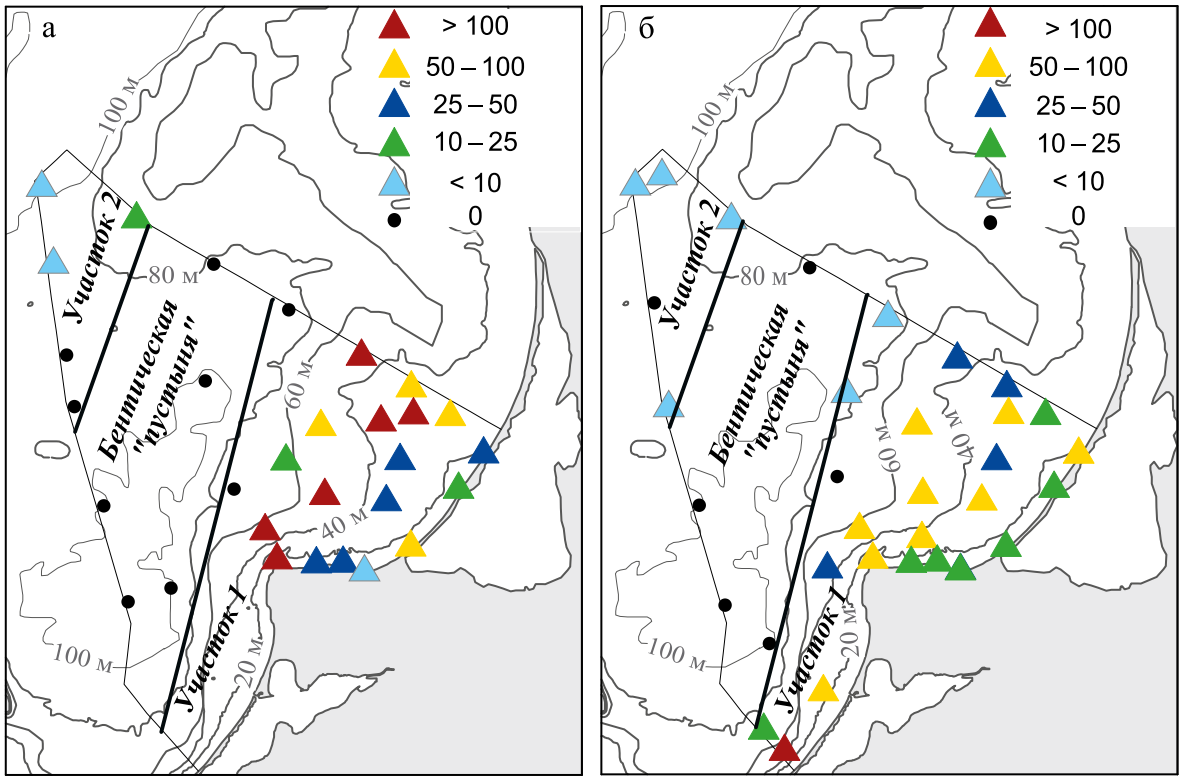

Рис. 11 – Пространственное распределение биомассы макрозообентоса (г/м^2) в июле 2018 г. (**а**) и 2019 г. (**б**)

В выделенных по батиметрическому принципу районах (0–20 м, 20–40 м и 40–60 м) в 2019 г. наблюдалось увеличение численности, особенно явно (вдвое) до глубины 40 м, по сравнению с 2018 г. Биомасса при этом снизилась, наиболее заметно в пределах глубин 20–60 м.

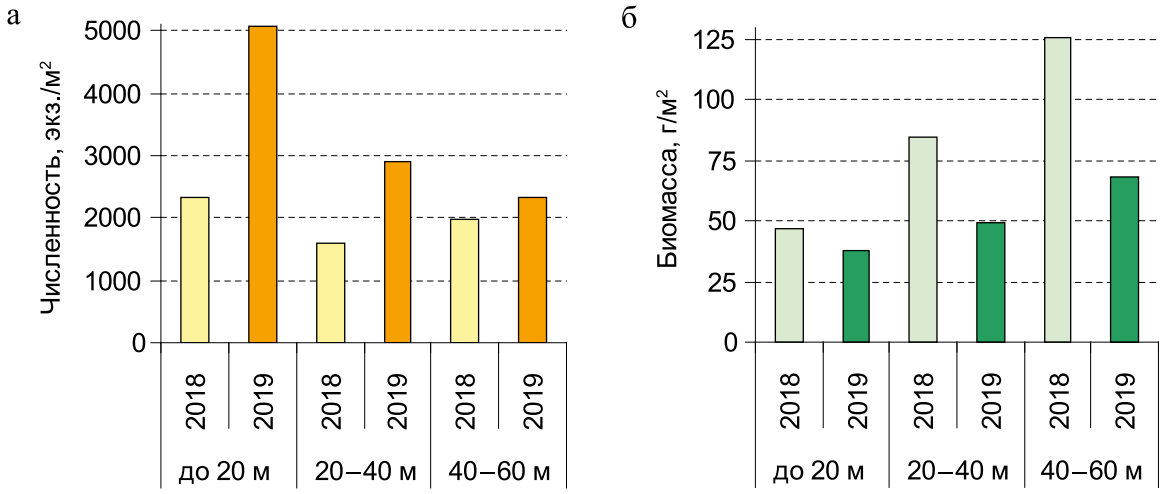

Рис. 12 – Численность (**а**) и биомасса (**б**) зообентоса на разных глубинах

По результатам исследований выявлена четкая тенденция увеличения биомассы зообентоса от прибрежного района (глубины 0–20 м) к мористому (20–40 м), а максимальные величины были в районе с глубинами 40–60 м (рисунок 12). Численность зообентоса была максимальной в прибрежном районе и снижалась в более мористых районах за счет изменений в численности и биомассе комплекса доминирующих видов.

На глубинах более 60 м отмечены минимальные численность и биомасса (до 3 экз./м^2 и 0.02 г/м^2) или зообентос отсутствовал из-за дефицита кислорода. В современный период зона бентической «пустыни» расположена на глубинах более 70–80 м (Warzocha, 1995; Гусев, 2020). Ее распространение зависит от гидрологических условий, в 2019 г. площадь зоны бентической «пустыни» уменьшилась (рисунки 10, 11), что связано с двумя затоками североморских вод низкой интенсивности в сентябре и декабре 2018 г., которые улучшили кислородный режим у дна (Naumann et al., 2019).

Гданьско-Готландский порог (участок 2) характеризовался значительно более бедным таксономическим составом по сравнению с участком Гданьского бассейна. Этот участок, имеющий глубины более 80 м, расположен северо-западнее зоны бентической «пустыни». Наличие течения в пределах Гданьско-Готладского порога в направлении из Слупского желоба в Готландский бассейн обуславливает присутствие кислорода у дна в глубоководной акватории и развитие бентосного сообщества (Krek et al., 2021). В 2018–2019 гг. здесь встречено 11 таксонов, из них в 2018 г. – 7 и в 2019 г. – 8 таксонов.

По численности доминировали полихеты и двустворчатые моллюски, по биомассе – двустворчатые моллюски (рисунок 13). В 2019 г. в общей численности отмечено увеличение доли двустворчатых моллюсков с 34 % до 45 %. Изменений в соотношении биомассы не отмечено, в 2018 и 2019 гг. абсолютно доминировали двустворчатые моллюски (93–95 %).

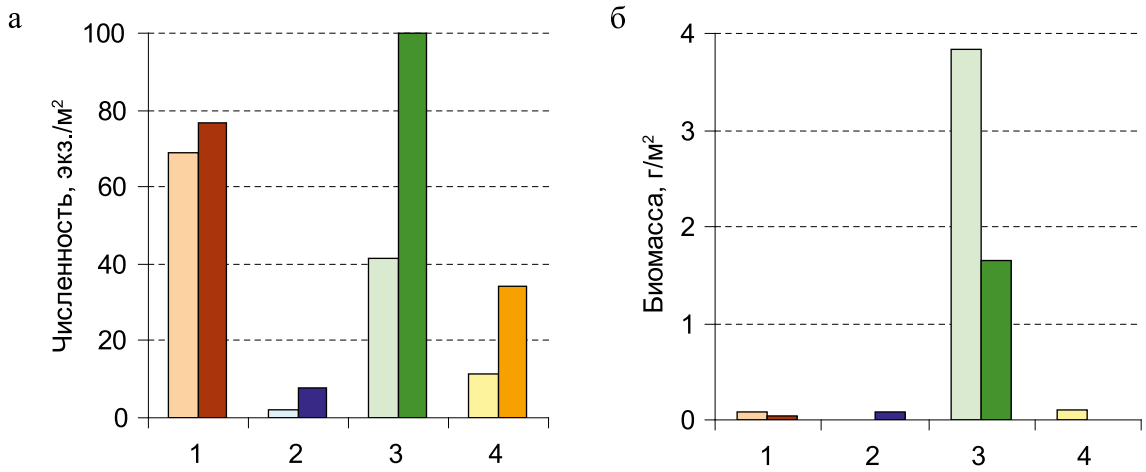

Рис. 13 – Численность (**а**) и биомасса (**б**) основных групп зообентоса на Гданьско-Готландском пороге в июле 2018 г. и 2019 г. (1 – Polychaeta; 2 – Malacostraca; 3 – Bivalvia; 4 – прочие)

Основным доминирующим видом были двустворчатые моллюски *Macoma balthica*, их численность в 2019 г. возросла в 2.5 раза по сравнению с 2018 г. (с 40 экз./м^2 до 100 экз./м^2), а биомасса снизилась 2 раза (с 3.55 г/м^2 до 1.66 г/м^2).

На участке Гданьско-Готландского порога так же, как и на участке Гданьского бассейна, в 2019 г. средняя численность возросла в 1.8 раза по сравнению с 2018 г. (с 123 экз./м^2 до 219 экз./м^2), а биомасса снизилась в 2.2 раза (с 4.0 г/м^2 до 1.8 г/м^2). В 2018–2019 гг. численность макрозообентоса на Гданьско-Готландском пороге была на очень низком уровне (менее 1000 экз./м^2). Биомасса в 2018 г. была от очень низкого (менее 10 г/м^2) до низкого уровня (10–25 г/м^2), а в 2019 г. на очень низком уровне. Численность и биомасса зообентоса была значительно ниже, чем по тальвегу ложбины, по которому происходит переток обогащенных кислородом вод в Готландский бассейн из Гданьского бассейна или Слупского желоба, где высокие биомассы формирует двустворчатый моллюск *Astarte borealis* (Gusev, Rudinskaya, 2014; Krek et al., 2021).

В среднем численность зообентоса на глубоководном Гданьско-Готландском пороге в 2018–2019 гг. была в 14–15 раз меньше, а биомасса – в 18 раз в 2018 г. и в 25 раз в 2019 г. меньше, чем в значительно более продуктивном Гданьском бассейне. Гданьско-Готландского порог из-за дефицита кислорода характеризуется бедной по видовому составу фауной зообентоса с минимальными для российской зоны величинами численности и биомассы, что подтверждают предыдущие исследования (Gusev, Rudinskaya, 2014).

Зообентос Балтийского моря, вследствие небольших размеров организмов, почти весь потребляется бентофагами и молодью хищных рыб (Очерки, 1984). В российских водах юго-восточной части Балтийского моря благоприятные условия для питания рыб характерны, в том числе по результатам исследований 2018–2019 гг., для Гданьского бассейна, преимущественно до глубины 60 м, особенно в пределах 40–60 м. Кормовая значимость Гданьско-Готландского порога многократно ниже и определяется наличием затоков североморских вод. Эти два участка разделены котловиной Гданьской впадины, где сформированы условия бентической «пустыни».

В последние десятилетия, ввиду отсутствия крупных затоков североморских вод в Балтийское море, в российской зоне наблюдается сужение площади распространения зообентоса, что связано с усилением соленостной стратификации и расширением зоны гипоксии у дна. Следствием этого стало сокращение площади нагула бентосоядных рыб в 2008–2019 гг. В июле 2019 г. на Гданьско-Готландском пороге и в Гданьском бассейне отмечено изменение локализации глубоководных станций, населенных зообентосом, и уменьшение зоны бентической «пустыни» по сравнению с июлем 2018 г., что связано с двумя баротропными затоками североморских вод низкой интенсивности в сентябре и декабре 2018 г., которые улучшили кислородный режим в придонном слое (Naumann et al., 2019).

Заключение

В пределах российской акватории, расположенной в юго-восточной части Балтийского моря, по данным, полученным в июле 2018 и 2019 гг., наибольший уровень обилия фитопланктона (по хлорофиллу «а») характерен для прибрежного района, где он соответствовал эвтрофному состоянию (хлорофилл «а» > 4.0 мг/м^3) и снижался с удалением от берега и увеличением глубины до мезотрофного состояния. Для прибрежного района и мористее, до глубин 40 м, характерна выраженная межгодовая изменчивость обилия фитопланктона, по сравнению с глубоководным районом с более стабильными условиями среды. Наблюдаемое соответствие пространственного распределения хлорофилла «а» по многолетним данным свидетельствует об относительной стабильности природных условий, определяющих развитие фитопланктона. Превышение по величине хлорофилла «а» целевого значения для достижения «хорошего экологического статуса», особенно значительное в прибрежной зоне, подтверждает отнесение Гданьского бассейна к районам с наибольшим уровнем эвтрофирования в Балтийском море.

Планктон и бентос Балтийского моря сформированы под влиянием солоноватоводных вод, которые определяют относительно низкое число видов. Зоопланктон был представлен 36 таксонами, в том числе в 2018 г. – 31, в 2019 г. – 35. Среди них было 4 вида-вселенца. В июле 2019 г. в глубоководной зоне обнаружены 2 вида-индикатора затока североморских вод. По числу видов преобладали веслоногие и ветвистоусые ракообразные. Наблюдалось характерное для лета увеличение доли коловраток в численности и ветвистоусых ракообразных в биомассе в прибрежной зоне, а также более массовое развитие веслоногих ракообразных в глубоководном районе. В июле 2019 г. средняя численность зоопланктона была выше, чем в июле 2018 г. (102.8 и 88.7 тыс. экз./м^3), за счет более массового развития мелкоразмерных коловраток, при равной биомассе зоопланктона (0.85 г/м^3). Численность и биомасса зоопланктона были близки к максимальным величинам, наблюдаемым в последние годы в юго-восточной части Балтийского моря. Наибольшее обилие зоопланктона и как следствие лучшие условия питания рыб-планктофагов были от прибрежной зоны до глубин 40 м.

Зообентос был представлен 40 таксонами, в том числе в 2018 г. встречено 34, в 2019 г. – 35. Среди них было 6 видов-вселенцев. Видовой состав был представлен преимущественно высшими раками, полихетами и моллюсками. Наличие кислорода у дна определяет развитие зообентоса на двух участках, между которыми расположена зона бентической «пустыни». В Гданьском бассейне от прибрежной зоны до глубин 70–80 м расположен наиболее обширный первый участок, а второй, с глубинами более 80 м, приурочен к Гданьско-Готландскому порогу в северо-западной части акватории. На обоих участках в 2019 г. наблюдалось увеличение численности и снижение биомассы зообентоса. Наибольшая численность была у полихет и двустворчатых моллюсков, биомасса – у двустворчатых моллюсков. В 2018–2019 гг. средние показатели развития зообентоса в Гданьском

бассейне (37 видов, 1782–3085 экз./м^2, 45.1–73.4 г/м^2) были на уровне 2008–2017 гг. Гданьско-Готландский порог характеризуется бедным видовым составом и низким обилием зообентоса (11 видов, 123–219 экз./м^2, 1.8–4.0 г/м^2). В июле 2019 г. на Гданьско-Готландском пороге и в Гданьском бассейне отмечено уменьшение зоны бентической «пустыни», что связано двумя затоками североморских вод низкой интенсивности в сентябре и декабре 2018 г.

Благодарности. Гидробиологические исследования (видовой состав, численность, биомасса) выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00004-23-00, анализ пространственного распределения в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Список литературы

1. *Александров С. В., Гусев А. А., Дмитриева О. А., Семенова А. С., Чукалова Н. Н.* Планктонные и бентосные сообщества Балтийского моря у северного побережья Самбийского полуострова // Труды АтлантНИРО. 2019. Т. 3. № 2 (8). С. 38–58.
2. *Александров С. В., Гусев А. А., Кудрявцева Е. А., Семенова А. С.* Планктонные и бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря в летний период 2019 года // Труды АтлантНИРО. 2021. Т. 5. № 1 (11). С. 60–79.
3. *Гусев А. А., Рудинская Л. В.* Фауна зообентоса юго-восточной части Балтийского моря (Гданьский бассейн) в разные периоды исследований // Труды АтлантНИРО. 2017. Т. 1. № 3. С. 33–64.
4. *Гусев А. А.* Многолетняя динамика макрозообентоса в юго-восточной части Балтийского моря: Автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.02.10 / Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН. Борок, 2020. 26 с.
5. Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. Т. 2: Планктон. М., 1984. 375 с.
6. *Полунина Ю. Ю., Родионова Н. В.* Характеристика зоопланктонного сообщества // Система Балтийского моря. М.: Научный мир, 2017. С. 258–291.
7. *Aleksandrov S. V., Zhigalova N. N., Zezera A. S.* Long-Term Dynamics of Zooplankton in the Southeastern Baltic Sea // Russian Journal of Marine Biology. 2009. Vol. 35. No. 4. P. 296–304. https://doi.org/10.1134/S106307400904004X.
8. *Andrulewicz E., Kruk-Dowgiallo L., Osowiecki A.* An expert judgment approach to designating ecosystem typology and assessing the health of the Gulf of Gdansk // Managing the Baltic Sea. Coastline Reports. 2004. Vol. 2. P. 53–61.
9. *Gusev A. A., Rudinskaya L. V.* Shell form, growth and production of *Astarte borealis* (Schumacher, 1817) (Astartidae, Bivalvia) in the Southeastern Baltic Sea // Oceanology. 2014. Vol. 54. No. 4. P. 458–464. https://doi.org/10.1134/S0001437014040043.
10. HELCOM: Eutrophication in the Baltic Sea – Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region. Baltic Sea Environ. Proc. 2013. No. 133. 134 p.
11. *Klais R., Lehtiniemi M., Rubene G., Semenova A., Margonski P., Ikauniece A., Simm M., Pollumae A., Griniene E., Makinen K., Ojaveer H.* Spatial and temporal variability of zooplankton in a temperate semi-enclosed sea: implications for monitoring design and long-term studies // Journal of Plankton Research. 2016. Vol. 38. No. 3. P. 652–661. https://doi.org/10.1093/plankt/fbw022.

12. *Krek A., Gusev A., Krek E., Krechik V., Kapustina M., Kondrashov A., Dudkov I.* The pathway of the water exchange over the Gdańsk-Gotland Sill of the Baltic Sea and its impact on habitat formation during the stagnation period // Oceanology. 2021. Vol. 63. No. 2. P. 163–178. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.11.003.
13. *Kudryavtseva E. A., Aleksandrov S. V.* Hydrological and hydrochemical underpinning of primary production and division of the Russian sector in the Gdansk Basin of the Baltic Sea // Oceanology. 2019. Vol. 59. No. 1. P. 49–65. https://doi.org/10.1134/S0001437019010077.
14. *Kudryavtseva E., Aleksandrov S., Bukanova T., Dmitrieva O., Rusanov I.* Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea // Regional Studies in Marine Science. 2019. Vol. 32. 100862. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100862.
15. *Kudryavtseva E. A., Pimenov N. V., Aleksandrov S. V., Kudryavtsev V. M.* Primary production and chlorophyll content in the southeastern Baltic Sea in 2003–2007 // Oceanology. 2011. Vol. 51. No. 1. P. 27–35. https://doi.org/10.1134/S0001437011010103.
16. *Naumann M., Gräwe U., Mohrholz M., Kuss J., Siegel H., Waniek J. J., Schulz-Bull D. E.* Hydrographic-hydrochemical assessment of the Baltic Sea 2018 // Marine Science Reports. 2019. No. 110. 92 p.
17. *Olenin S.* Bentic zonation of the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea // Netherlands Journal of Aquatic Ecology. 1997. Vol. 30 (4). P. 265–282. https://doi.org/10.1007/BF02085871.
18. *Plinski M., Żmijewska M. I., Sapota M., Witek B., Mudrak S.* Predictional model of biocenotic changes in offshore Baltic plankton due to temperature increase // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2003. Vol. 32. No. 3. P. 29–41.
19. *Snoeijs-Leijonmalm P., Schubert H., Radziejewska T.* Biological Oceanography of the Baltic Sea. Springer, 2017. 683 p. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2.
20. *Telesh I., Postel L., Heerkloss R., Mironova E., Skarlato S.* Zooplankton of the Open Baltic Sea: Extended Atlas. BMB Publication No. 21. Meereswiss. Ber., Warnemuende, 2009. No. 76. 290 p.
21. *Telesh I., Skarlato S., Kube S., Rohde H., Schubert H.* Zooplankton of the Baltic Sea: Introduction to the distant learning module. St. Petersburg: Rostock, 2015. 124 p.
22. *Vuoristo H.* Water quality classification of Finnish waters // European Water Management. 1998. No. 1 (6). P. 35–41.
23. *Warzocha J.* Classification and structure of macrofaunal communities in the southern Baltic // Archive of Fishery and Marine Research. 1995. Vol. 42 (3). P. 225–237.
24. *Wasmund N., Andrushaitis A., Lysiak-Pastuszak E., Nausch G., Neumann T., Ojaveer H., Olenina I., Postel L., Witek Z.* Trophic status of the south-eastern Baltic sea: a comparison of coastal and open areas // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2001. No. 53 (6). P. 849–864. https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0828.

Статья поступила в редакцию 16.12.2022, одобрена к печати 27.02.2023.
Для цитирования: *Александров С. В., Гусев А. А., Семенова А. С.* Планктонные и бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря в летний период 2018–2019 гг. // Океанологические исследования. 2023. № 51 (1). С. 91–113. https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).5.

ISSN (online): 2587-9634 / ISSN (print): 1564-2291
Океанологические исследования. 2023. Том 51. № 1. С. 91–113

PLANKTONIC AND BENTHIC COMMUNITIES OF THE SOUTHEASTERN PART OF THE BALTIC SEA IN THE SUMMER PERIOD 2018–2019

S. V. Aleksandrov[1,2], A. A. Gusev[1,2], A. S. Semenova[1,3]

[1]Atlantic branch of FSBSI "VNIRO" ("AtlantNIRO"),
5, Dm. Donskogo, Kaliningrad, 236029, Russia,
e-mail: hydrobio@mail.ru;
[2]Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia;
[3]Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,
109, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, 152742, Russia

During the expeditions in July 2018 and 2019 data were obtained on the state of summer plankton and benthos over the entire Russian water area in the southeastern part of the Baltic Sea. The highest abundance of phytoplankton (in terms of chlorophyll "a") is typical for the coastal region, where it reaches the eutrophic state, and decreases in the seaward zone to the mesotrophic state. Brackish water conditions determined a rather small number of species of zooplankton (36 taxa) and zoobenthos (40 taxa), including invading species (4 in zooplankton and 6 in benthos). Copepoda dominated in zooplankton in the deep-water zone, while the proportion of Cladocera and Rotifera increased in the coastal zone. The abundance and biomass of zooplankton corresponded to the maximum level observed in recent years in the South-Eastern Baltic. Zooplankton was more abundant from the coast to depths of 40 m, as a result, the best feeding conditions for planktophagous fish extended at this area. In benthos, Polychaeta and Bivalvia dominated in abundance, and Bivalvia dominated in biomass. The hydrological conditions in the Russian zone determine the development of zoobenthos in two regions separated by the Gdansk depression, which is characterized by benthic "desert" conditions. The largest region extends from the coast to depths of 70–80 m, and the second – in the deep northwestern part and is confined to the Gdansk-Gotland Sill. High abundance and biomass of zoobenthos are characteristic of the Gdansk basin down to depths of 60 m, where favorable conditions are formed for benthophage fish. The species composition and abundance of zoobenthos on the Gdansk-Gotland Sill much lower and is determined by the presence of North Sea waters inflows, in particular, in 2019 there was an increase in the abundance and distribution of benthos as a result of the inflow of North Sea waters.

Keywords: zooplankton, zoobenthos, chlorophyll "a", spatial distribution, trophic state, Baltic Sea

Acknowledgements: Hydrobiological studies (species composition, abundance, biomass) were carried out within the framework of the state assignment of the VNIRO (No. 076-00004-23-00), analysis of the spatial distribution within a support of the state assignment of the IO RAS (Theme No. FMWE-2021-0012).

References

1. Aleksandrov, S. V., A. A. Gusev, O. A. Dmitriyeva, A. S. Semenova, and N. N. Chukalova, 2019: Planktonnyye i bentosnyye soobshchestva Baltiyskogo morya u severnogo poberezhia Sambiyskogo poluostrova (Planktonic and benthic communities of the Baltic Sea off the northern coast of the Sambian Peninsula). *Trudy AtlantNIRO*, **3** (2), 38–58.
2. Aleksandrov, S. V., A. A. Gusev, E. E. Kudryavtseva, and A. S. Semenova, 2021: Planktonnye i bentosnye soobshchestva yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morya v letnij period 2019 goda (Planktonic and benthic communities of the southeastern part of the Baltic Sea in the summer period 2019). *Trudy AtlantNIRO*, **5** (1), 60–79.
3. Aleksandrov, S. V., N. N. Zhigalova, and A. S. Zezera, 2009: Long-Term Dynamics of Zooplankton in the Southeastern Baltic Sea. *Russian Journal of Marine Biology,* **35** (4), 296–304, https://doi.org/10.1134/S106307400904004X.
4. Andrulewicz, E., L. Kruk-Dowgiallo, and A. Osowiecki, 2004: An expert judgment approach to designating ecosystem typology and assessing the health of the Gulf of Gdansk. *Managing the Baltic Sea. Coastline Reports,* **2**, 53–61.
5. Gusev, A. A., 2020: *Mnogoletnyaya dinamika makrozoobentosa v yugo-vostochnoj chasti Baltiyskogo moray.* Avtoreferat diss. kand. boil. nauk (*Long-term dynamics of macrozoobenthos in the south-eastern part of the Baltic Sea*. Abstract of dis. Ph. D.). Borok, 26 p.
6. Gusev, A. A. and L. V. Rudinskaya, 2014: Shell form, growth and production of *Astarte borealis* (Schumacher, 1817) (Astartidae, Bivalvia) in the Southeastern Baltic Sea. *Oceanology*, **54** (4), 458–464, https://doi.org/10.1134/S0001437014040043.
7. Gusev, A. A. and L. V. Rudinskaya, 2017: Fauna zoobentosa yugo-vostochnoj chasti Baltiyskogo moray (Gdan'skij bassejn) v raznye periody issledovanij (Zoobenthos fauna of the southeastern Baltic Sea (Gdansk Basin) at different research periods). *Trudy AtlantNIRO*, **1** (3), 33–64.
8. HELCOM, 2013: Eutrophication in the Baltic Sea – Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region. *Baltic Sea Environment Proceedings,* **133**, 134 p.
9. Klais, R., M. Lehtiniemi, G. Rubene, A. Semenova, P. Margonski, A. Ikauniece, M. Simm, A. Pollumae, E. Griniene, K. Makinen, and H. Ojaveer, 2016: Spatial and temporal variability of zooplankton in a temperate semi-enclosed sea: implications for monitoring design and long-term studies. *Journal of Plankton Research*, **38** (3), 652–661, https://doi.org/10.1093/plankt/fbw022.
10. Krek, A., A. Gusev, E. Krek, V. Krechik, M. Kapustina, A. Kondrashov, and I. Dudkov, 2021: The pathway of the water exchange over the Gdańsk-Gotland Sill of the Baltic Sea and its impact on habitat formation during the stagnation period. *Oceanology*, **63** (2), 163–178, https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.11.003.
11. Kudryavtseva, E. A. and S. V. Aleksandrov, 2019: Hydrological and hydrochemical underpinning of primary production and division of the Russian sector in the Gdansk Basin of the Baltic Sea. *Oceanology*, **59** (1), 49–65, https://doi.org/10.1134/S0001437019010077.
12. Kudryavtseva, E., S. Aleksandrov, T. Bukanova, O. Dmitrieva, and I. Rusanov, 2019: Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea. *Regional Studies in Marine Science*, **32**, 100862, https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100862.
13. Kudryavtseva, E. A., N. V. Pimenov, S. V. Aleksandrov, and V. M. Kudryavtsev, 2011: Primary production and chlorophyll content in the southeastern Baltic Sea in 2003–2007. *Oceanology*, **51** (1), 27–35, https://doi.org/10.1134/S0001437011010103.
14. Naumann, M., U. Gräwe, M. Mohrholz, J. Kuss, H. Siegel., J. J. Waniek, and D. E. Schulz-Bull, 2019: Hydrographic-hydrochemical assessment of the Baltic Sea 2018. *Marine Science Reports*, **110**, 92 p.

15. Olenin, S., 1997: Bentic zonation of the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, **30** (4), 265–282, https://doi.org/10.1007/BF02085871.
16. *Plankton*, 1984: *Ocherki po biologicheskoy produktivnosti Baltiyskogo morya (Essays on the biological productivity of the Baltic Sea)*. **2**, 375 p.
17. Plinski, M., M. I. Żmijewska, M. Sapota, B. Witek, and S. Mudrak, 2003: Predictional model of biocenotic changes in offshore Baltic plankton due to temperature increase. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, **32** (3), 29–41.
18. Polunina, Y. Y. and N. V. Rodionova, 2017: Kharakteristika zooplanktonnogo soobshchestva (Zooplanktonic community features). *Sistema Baltiyskogo morya,* 258–291.
19. Snoeijs-Leijonmalm, P., H. Schubert, and T. Radziejewska, 2017: *Biological Oceanography of the Baltic Sea*. Springer, 683 p., https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2.
20. Telesh I., L. Postel, R. Heerkloss, E. Mironova, and S. Skarlato, 2009: Zooplankton of the Open Baltic Sea. *Extended Atlas. BMB Publication*, **21**, 290 p.
21. Telesh, I., S. Skarlato, S. Kube, H. Rohde, and H. Schubert, 2015: *Zooplankton of the Baltic Sea: Introduction to the distant learning module*. St. Petersburg, Rostock, 124 p.
22. Vuoristo, H., 1998: Water quality classification of Finnish waters. *European Water Management*, **1** (6), 35–41.
23. Warzocha, J., 1995: Classification and structure of macrofaunal communities in the southern Baltic. *Arch. Fish. Mar. Res.*, **42** (3), 225–237.
24. Wasmund, N., A. Andrushaitis, E. Lysiak-Pastuszak, G. Nausch, T. Neumann, H. Ojaveer, I. Olenina, L. Postel, and Z. Witek, 2001: Trophic status of the south-eastern Baltic sea: a comparison of coastal and open areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **53** (6), 849–864, https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0828.

Submitted 16.12.2022, accepted 27.02.2022.
For citation: Aleksandrov S. V., A. A. Gusev, and A. S. Semenova, 2023: Planktonic and benthic communities of the southeastern part of the Baltic Sea in the summer period 2018–2019. *Journal of Oceanological Research*, **51** (1), 91–113, https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).5.