

УДК [591.044:628.4.043] (282.253.11)

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА РЫБАМИ И РАКООБРАЗНЫМИ ДЕЛЬТЫ РЕКИ МЕКОНГ (ВЬЕТНАМ)

© 2024 г. И. И. Чеснокова^{a, b, *}, С. В. Статкевич^{a, b}, Е. П. Карпова^{a, b}, Ку Нгуен Динь^b

^aИнститут биологии южных морей им А.О. Ковалевского Российской академии наук, Севастополь, Россия

^bЮжное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, Хошимин, Вьетнам

*e-mail: mirenri@bk.ru

Поступила в редакцию 27.09.2022 г.

После доработки 20.05.2023 г.

Принята к публикации 07.06.2023 г.

Загрязнение рек Азии пластиком — одна из глобальных проблем региона. В результате исследования тканей некоторых массовых видов гидробионтов из дельты р. Меконг, одной из крупнейших рек Юго-Восточной Азии, выявлено наличие частиц микропластика у 11 из 12 видов рыб и у 6 видов ракообразных. Использован метод разложения тканей 30%-ной перекисью водорода. Доминирующим типом пластика у рыб и ракообразных были волокна сине-фиолетового цвета.

Ключевые слова: рыбы, ракообразные, р. Меконг, микропластик

DOI: 10.31857/S0320965224020096 **EDN:** xtcdyk

ВВЕДЕНИЕ

Одна из актуальных проблем современной науки — загрязнение вод Мирового океана МП. Общемировой выпуск пластика в 2021 г. достиг 390.7 млн т, но его переработка и утилизация осуществляется в незначительных объемах (Plastics — The Facts..., 2022). Поступление 88–94% пластика в океаны происходит за счет десяти рек Азии и Африки. Так, р. Янцзы в Китае переносит наибольшее количество пластиковых отходов, за ней следуют р. Инд, протекающая через Индию и Пакистан, реки Хуанхэ и Хай в Китае и р. Нил, протекающая через страны северо-востока Африки. Восемь из десяти рек, наиболее загрязняющих окружающую среду, находятся в Азии, т.е. служат основными каналами сброса пластиковых отходов в море (Schmidt et al., 2017).

За последнее десятилетие количество исследований, посвященных присутствию, судьбе и источникам микропластика в морских и пресноводных экосистемах, существенно возросло. Однако в большинстве работ анализируют присутствие МП в воде, вопросы поглощения этих частиц животными и их влияние на водные организмы освещены значительно хуже (Granek et al., 2020). Тем не менее, показано, что изменения, вызываемые частицами МП, затрагивают

различные ткани и органы животных. Происходят нарушения в работе желудочно-кишечного тракта, печени, жабр, изменяется активность антиоксидантных и других ферментов, замедляется сердцебиение (Perez-Albaladejo et al., 2020; Elizalde-Velázquez G.A., Gómez-Oliván, 2021). В свою очередь это оказывает влияние на процессы роста, пищевое поведение, размножение и способность двигаться. Накопленные изменения могут стать причиной увеличения смертности, что особенно характерно для личиночных стадий и молоди гидробионтов (Critchell, Hoogenboom, 2018; Xu et al., 2020; Elizalde-Velázquez G.A., Gómez-Oliván, 2021). Передача МП от первичных потребителей на более высокие трофические уровни представляет угрозу и для здоровья человека. Частицы размером 10–20 мкм способны проникать в органы и ткани человека, в том числе печень и мозг. При этом содержащиеся в МП бисфенол А, фталаты, полибромированные дифениловые эфиры приводят к изменению микрофлоры желудка (Vivekanand et al., 2021).

Ежегодно >37 000 т пластика сбрасывается из вьетнамской дельты р. Меконг в Восточное море (Mendrik et al., 2019). Более того, эстуарии считаются горячими точками загрязнения МП, поскольку именно здесь сильные гидродинамические силы (приливы, волны, ветер) действуют на частицы пластика, влияя на их распространение, суспендирование и оседание, а также регу-

Сокращения: ЖКТ — желудочно-кишечный тракт, МП — микропластик.

лируют траекторию и скорость попадания этих частиц в морскую среду (Vendel et al., 2017). Хотя некоторые работы по изучению влияния разных типов загрязнения на гидробионтов водоемов южного Вьетнама проводили и ранее (Лобус, Ковов, 2016; Томила и др., 2016), исследования МП-загрязнения гидробионтов, обитающих в р. Меконг, единичны. Так, были проанализированы 8 видов барбусов и сомов, отловленных в р. Чи (притоке р. Меконг, Таиланд). Частицы МП обнаружены у 72.9% особей. Из общего числа частиц, проглоченных рыбой, 87% фрагментов классифицировали как волокнистые, 57% частиц были синего цвета. По мнению авторов (Kasamesiri, Thaimuangphol, 2020), источником МП в среде служат сачки с синими волокнами, используемые в аквакультуре нильской тилапии, а также рыболовные сети, ловушки и лески. Это подтверждают и другие исследователи (Lusher et al., 2017): брошенные, утерянные или иным образом выброшенные орудия лова — основной источник пластиковых отходов в секторах рыболовства и аквакультуры. Дельта р. Меконг — место активного рыболовства и центр развитой аквакультуры, следовательно, проблема микропластикового загрязнения — одна из актуальнейших для данного региона.

Цель настоящего исследования — оценить содержание частиц пластика в желудочно-кишечном тракте массовых видов гидробионтов (рыб и креветок) в дельте р. Меконг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор образцов и проведение биоанализа.

Во время экспедиционных исследований с 9 марта по 16 апреля 2022 г. отобраны пробы рыб и ракообразных в провинциях Донгхап, Виньлонг, Чавинь и Бенче (Вьетнам) (рис. 1). Материал собирали с борта рыбацкого моторного судна при помощи буксируемого промыслового бимтрала с жесткой металлической рамой, ширина которой 4 м, высота 0.4 м, длина тралового мешка 12 м, размер ячеей сетного полотна во всем трале 10 мм.

Объектами изучения были представители семейств карповых Cyprinidae — *Rasbora aurotaenia* Tirant, 1885 ($n = 15$), *Albulichthys albuloides* (Bleeker, 1855) ($n = 16$), *Puntiopteryx proctozystron* (Bleeker, 1865) ($n = 19$); пальцеперковых Polynemidae — *Polynemus melanochir* Valenciennes, 1831 ($n = 15$); ариевых сомов Ariidae — *Osteogeneiosus militaris* (L., 1758) ($n = 14$), *Arius maculatus* (Thunberg, 1792) ($n = 24$); угрехвостых сомов Plotosidae — *Plotosus canius* Hamilton, 1822 ($n = 17$); батраховых Batrachoididae — *Allenbatrachus grunniens* (L., 1758)

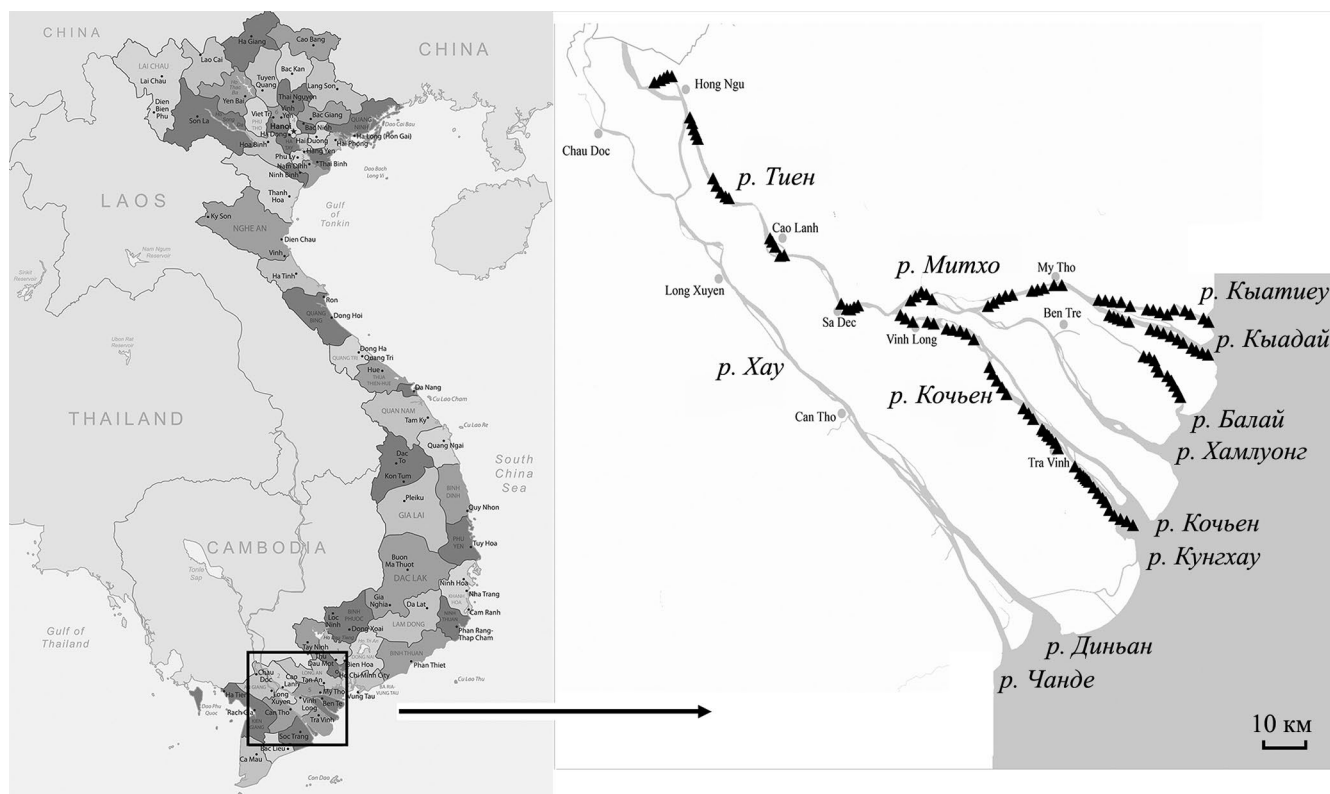


Рис. 1. Районы исследования (треугольниками обозначены станции сбора материала).

($n = 15$); лировых Callionymidae — *Tonlesapia tsukawakii* Motomura & Mukai, 2006; элеотровых Eleotridae — *Eleotris melanosoma* Bleeker, 1853 ($n = 14$); циноглоссовых Cynoglossidae — *Cynoglossus microlepis* (Bleeker, 1851) ($n = 14$) и солевых Soleidae — *Brachirus panoides* (Bleeker, 1851) ($n = 12$). Десятиногие ракообразные были представлены тремя семействами: палеомониды Palaemonidae — *Macrobrachium dolichodactylus* Hilgendorf, 1879 ($n = 30$), *M. equidens* (Dana, 1852) ($n = 12$), *Arachnochium mirabile* (Kemp, 1917) ($n = 15$)), пенеиды Penaeidae — *Mierspenaeopsis sculptilis* (Heller, 1862) ($n = 20$) и диогениды Diogenidae (*Diogenidae* sp. ($n = 12$)). Из ротоногих в работе использовали представителя семейства сквиллиды Squillidae (*Cloridopsis scorpio* (Latreille, 1828) ($n = 15$)). Все виды относятся к массовым представителям ихтио- и карцинофауны дельты.

Проведен биологический анализ: получены стандартная длина (SL) рыб, промысловая длина креветок ($L_{\text{пром.}}$) и длина карапакса раков-отшельников ($L_{\text{кар.}}$), с точностью до 0.1 см; масса гидробионтов (W), с точностью до 0.01 г (AND GF-300, Япония). Желудочно-кишечные тракты рыб извлекали и помещали на хранение при -20°C до проведения анализа. Ракообразных после измерения и взвешивания заворачивали в фольгу и замораживали при -20°C . Для анализа особи использовали целиком, полагая, что найденные частицы МП локализовались в ЖКТ ракообразных. Раки-отшельники предварительно были извлечены из каравинов.

Обработка проб перекисью водорода, флотация в насыщенном растворе NaCl и последующая фильтрация. МП из тканей рыб и ракообразных выделяли по методу, описанному в работах (Li et al, 2015; Jabeen et al., 2017). Несколько образцов одного вида (от 3 до 10 особей) помещали в одну емкость и расценивали как повторность, для каждого вида готовили по две–пять повторностей. Образцы помещали в колбы или стаканы емкостью 250–1000 мл и добавляли 100–200 мл 30%-ной H_2O_2 . Колбы закрывали фольгой и помещали в термостат. Температура инкубации — 65°C . Для рыб время инкубации было 48 ч, при необходимости время инкубации продлевали на 12–24 ч с добавлением 50 мл 30% H_2O_2 . Время инкубации ракообразных было 24–48 ч в зависимости от их размеров. По завершении процесса разложения в пробы добавляли насыщенный раствор NaCl. Полученные растворы фильтровали с использованием фильтров диаметром 110 мм и с размером пор ≤ 15 –20 мкм (New Star, Hangzhou paper industry Co., LTD). По окончании фильтрации сразу проводили микроскопическое исследование.

Идентификация частиц микропластика. Подсчет частиц на фильтрах проводили с использованием микроскопа/бинокуляра Optika Microscopes

Italy. Изображения частиц получали с помощью цифровой камеры Optikam HDMI при различном увеличении ($\times 10$, $\times 20$, $\times 40$). Частицы пластика классифицировали по типам согласно их физическим характеристикам: волокна (удлиненные), фрагменты (угловатые, твердые), глобулы (округлые), пленки. Частицы пластика разделяли по размерам — мезопластик (> 5 мм), крупный МП (2–5 мм) и мелкий МП (< 2 мм). Также регистрировали цвет частиц МП.

Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Для статистического анализа преобладания типов пластика применяли критерий согласия Пирсона χ^2 . Различия считали достоверными при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Частицы МП обнаружены в ЖКТ всех видов рыб, за исключением *Rasbora aurotaenia*. Выявлено 238 частиц пластика. Из общего числа пластиковых частиц мезопластика было 5.9, крупного МП — 9.2, мелкого МП — 84.9%. Мезопластик представлен волокнами (85.7) и фрагментами (14.3), МП — волокнами (85.2), фрагментами (14.4) и глобулой (0.4).

Частицы МП обнаружены в ЖКТ всех видов ракообразных. У проанализированных видов ракообразных, без учета *Diogenidae* sp., выявлено 86 частиц пластика. Из общего числа пластиковых частиц мезопластика — 8.1, крупного МП — 7, мелкого МП — 84.9%. Мезопластик представлен волокнами (71.4) и пленками (28.6), МП — волокнами (82.6), фрагментами (8.1), пленками (9.3%). Размерно-массовые характеристики и содержание частиц МП в ЖКТ рыб представлены в табл. 1, ракообразных — в табл. 2.

В ЖКТ большинства проанализированных видов выявлены только частицы микропластика. Исключением были ракообразные *Macrobrachium equidens*, *Mierspenaeopsis sculptilis*, *Cloridopsis scorpio* и рыбы *Allenbatrachus grunniens*, *Eleotris melanosoma*, *Polynemus melanochir*, *Plotosus canius* и *Arius maculatus*, в их ЖКТ обнаружены частицы мезопластика, доля которых варьировала от 4 до 15%.

Соотношение типов пластика (волокна, фрагменты и пр.) показано на рис. 2. Установлено, что у рыб волокна статистически значимо доминировали у всех видов (критерий χ^2 , $p < 0.05$), кроме *Cynoglossus microlepis* ($\chi^2 = 2.00$; $df = 2$; $p = 0.37$), а у креветок — у всех, кроме *Macrobrachium dolichodactylus* ($\chi^2 = 4.67$; $df = 2$; $p = 0.10$).

Следует отметить наличие комка волокон размером 1.3 на 1.6 мм в одной из проб с *Diogenidae* sp. Его основу составляли прозрачные пластиковые волокна разной толщины, и в них были вплетены различные цветные волокна. Точное число

прозрачных волокон установить не удалось из-за сложности разделения. Выявлено ≥ 28 волокон, из них 2 толстых прозрачных волокна и ≥ 14 тонких. Другие цветные волокна в клубке — красные разной толщины, черные, голубые, оранжевые, темно- и светло-фиолетовые (рис. 3).

По цветам частицы разделялись на группы: сине-фиолетовые (включая серо-фиолетовые и голубые), черные (включая серые), красные (включая розовые и малиновые), желтые, зеленые (рис. 4). В отдельную группу (на рис. 4 — “другое”) выделяли прозрачные, серебристые и волокна неопределенного цвета. Наиболее распространенными были частицы сине-фиолетовых цветов — 64.24% для рыб и 67.44 для ракообразных.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной путь поступления МП в организм рыб и креветок — питание. Многие современные исследования направлены на установление зависимостей между типами питания гидробионтов и степенью загрязнения частицами МП. Все проанализированные нами виды рыб — демерсальные и большинство из них — хищники. Однако объекты их питания различны. Так, *Rasbora aurotaenia* питается насекомыми, но может включать в рацион водоросли (Lim et al., 1999), что, по-видимому, служит причиной отсутствия частиц МП в ЖКТ данного вида. Виды *Polynemus melanochir*, *Tonlesapia tsukawakii*, *Brachirus panoides*, *Cynoglossus microlepis*, *Arius maculatus* предпочитают

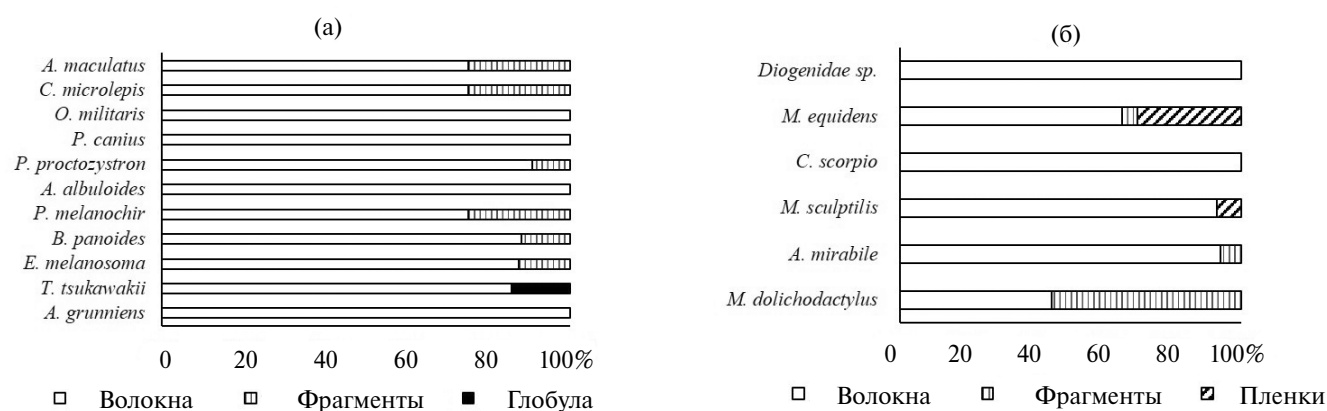


Рис. 2. Процентное соотношение типов пластика у рыб (а) и ракообразных (б).

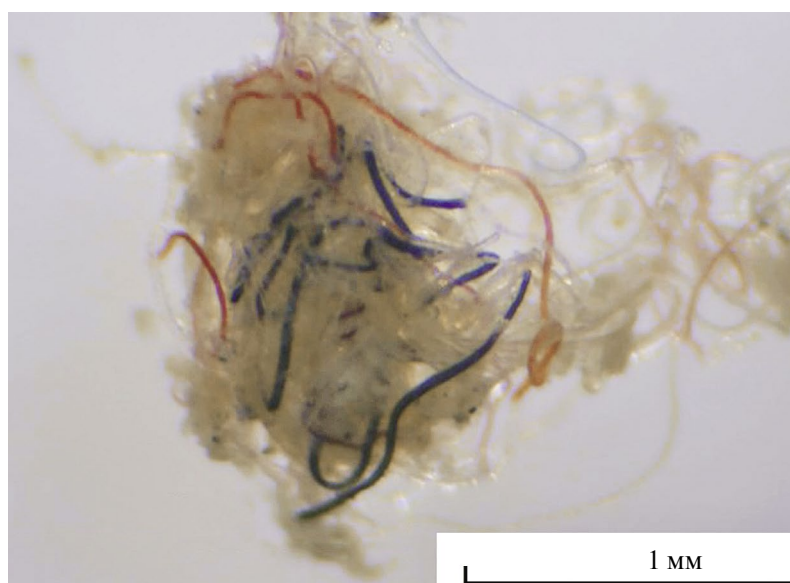


Рис. 3. Частицы МП из пластикового комка в ЖКТ *Diogenidae sp.*

Таблица 1. Размерно-массовые характеристики и содержание частиц МП в ЖКТ рыб (март–апрель 2022 г., дельта р. Меконг, провинции Донгхап, Виньлонг, Чавинь, Бенче, (Вьетнам))

Вид	Особенности биологии	SL , мм	$W_{\text{рыб}}$, г	Среднее*
Половозрелые особи				
<i>Allenbatrachus grunniens</i>	М, С, бетнофаг	115.9 ± 3.2 100–140	46.88 ± 3.76 26.57–70.67	0.93 ± 0.64
<i>Tonlesapia tsukawakii</i>	П, бетнофаг	42.0 ± 0.9 39–51	1.42 ± 0.08 0.69–2.15	0.35 ± 0.05
<i>Eleotris melanosoma</i>	М, П, С, бетнофаг	67.4 ± 1.9 55–79	7.19 ± 0.64 3.65–12.96	1.75 ± 0.38
<i>Brachirus panoides</i>	П, С, бетнофаг	93.0 ± 11.5 60–150	18.76 ± 6.29 2.82–54.84	2.00 ± 1.00
Молодь рыб				
<i>Polynemus melanochir</i>	П, С, бетнофаг	87.1 ± 2.5 69–105	11.87 ± 1.12 5.83–20.80	0.60 ± 0.00
<i>Albulichthys albuloides</i>	П, С, всеяден	74.1 ± 1.5 67–89	6.73 ± 0.36 4.86–9.60	0.42 ± 0.08
<i>Puntioplytes proctozystron</i>	П, бетнофаг	88.4 ± 3.0 72–117	24.26 ± 2.82 12.60–57.0	0.60 ± 0.16
<i>Plotosus canius</i>	М, П, С, бетнофаг	141.7 ± 5.6 115–190	19.03 ± 2.17 9.62–38.18	1.74 ± 0.32
<i>Rasbora aurotaenia</i>	П, всеяден	66.8 ± 1.8 60–83	5.46 ± 0.54 3.10–10.61	0
<i>Osteogeneiosus militaris</i>	М, П, С, ихтио-, бентофаг	92.6 ± 3.9 69–115	10.29 ± 1.13 3.72–15.37	1.15 ± 0.43
<i>Cynoglossus microlepis</i>	П, бентофаг	119.9 ± 3.3 100–137	9.51 ± 1.14 5.63–21.16	0.27 ± 0.13
<i>Arius maculatus</i>	М, П, С, ихтио-, бентофаг	13.6 ± 0.6 9.6–21.5	26.36 ± 4.1 6.77–89.33	4.27 ± 0.96

Примечание. Над чертой — $M \pm m$, под чертой — min–max; SL — стандартная длина, $W_{\text{рыб}}$ — масса рыбы; М — морской вид, С — солоновато-водный, П — пресноводный.

* — среднее число частиц микропластика на одну особь, шт.

Таблица 2. Размерно-массовые характеристики и содержание частиц МП в тканях ракообразных (март–апрель 2022 г., дельта р. Меконг, провинции Донгхап, Виньлонг, Чавинь, Бенче, (Вьетнам))

Вид	Особенности биологии	L , мм	W , г	Среднее
Креветки				
<i>Macrobrachium dolichodactylus</i>	П, всеяден	27.50 ± 0.80 19.52–37.82	0.64 ± 0.07 0.25–1.77	0.30 ± 0.00
<i>A. mirabile</i>	П, С, всеяден	52.68 ± 0.73 48.02–57.57	1.83 ± 0.08 1.42–2.43	1.13 ± 0.13
<i>M. equidens</i>	С, всеяден	52.37 ± 1.30 47.07–63.00	3.48 ± 0.29 2.47–5.81	2.25 ± 0.58
<i>Mierspenaeopsis sculptilis</i>	М, С, всеяден	65.90 ± 1.13 57.63–76.06	3.87 ± 0.20 2.33–5.53	0.80 ± 0.42
Раки-богомолы				
<i>Cloridopsis scorpio</i>	М, С, бентофаг	19.38 ± 0.67 14.97–24.02	8.57 ± 1.00 4.02–18.04	1.13 ± 0.27
Раки-отшельники				
<i>Diogenidae</i> sp.	С, М, всеяден	12.76 ± 0.48 10.38–15.44	2.03 ± 0.20 0.79–3.33	1.92 ± 0.37 (≥ 3.58 с учетом комка)

Примечание. Над чертой — $M \pm m$, под чертой — min–max. L , мм — длина (для креветок дана промысловая длина (от середины глазной орбиты до конца тельсона), для раков-богомолов и раков-отшельников — длина карапакса). Остальные обозначения, как в табл. 1.

представителей зообентоса — мелких креветок и других ракообразных, двустворчатых и брюхоногих моллюсков (Menon, 1977; Loan et al., 2014), что было подтверждено и нами — в пробах присутствовали неразложившиеся под действием перекиси остатки раковин. По данным (Quang et al., 2017), *Eleotris melanosoma* питается в основном ракообразными и в меньшей степени мелкой рыбой и детритом. В нашем исследовании одним из основных объектов питания данного вида были крабы рода *Limnopilos*, в массе обитающие на корнях водного гиацинта *Eichornia crassipes*. Вид *Allenbatrachus grunniens* также предпочитает крабов, реже в его желудке можно встретить креветок или рыб (Mitparian et al., 2021). Взрослые особи *Plotosus canius*, достигающие >1 м в длину, питаются моллюсками, ракообразными и рыбами. Поскольку в наших пробах была молодь *P. canius*, основу его питания составляли мелкие моллюски, в основном двустворчатые. Все указанные выше виды относятся к активным хищникам и, следовательно, могут получать частицы МП из объектов питания животного происхождения или же с частицами детрита. Полученные нами различия также могут быть связаны с образом жизни. Например, *Brachirus panoides* и *Cynoglossus microlepis* большую часть своей жизни проводят лежа на дне, следовательно, шанс случайного заглатывания частиц пластика у них выше, нежели у активного пловца *Polynemus melanochir*. Несколько отдельно в ряду исследованных видов стоит *Albulichthys albuloides*. Вид всеяден, питается детритом, зообентосом, наземными растениями, отдает предпочтение растительной пище (Rainboth, 1996; Lim et al.,

1999). Возможно, именно это является причиной низкого содержания частиц МП у данного вида.

Puntioplytes proctozyston, питающийся насекомыми и зоопланктоном, реже водорослями (Rainboth, 1996), — единственный вид, ранее исследованный на предмет содержания частиц МП в ЖКТ (Kasamesiri, Thaimuangphol, 2020). В работе проанализированы особи *Puntioplytes proctozyston* из р. Чи (Тайланд). Отмечено наличие частиц МП синего, красного и белого цветов у 86% особей.

Следует также учесть, что в нашем исследовании использована молодь у части видов, и, возможно, у более крупных представителей этих рыб содержание частиц МП будет иным. В работе (Ferreira et al., 2018) проанализированы особенности содержания МП в ЖКТ судачьего горбыля *Cynoscion acoupa* в зависимости от пространственно-временного и онтогенетического использования тропического эстуария. Изменения в соотношении типов и цветов МП авторы связывают со сменой типов питания в зависимости от локализации в эстуарии и возраста рыб (переход с питания ракообразными на питание рыбами). В работе (Critchell, Hoogenboom, 2018) экспериментально было показано, что молодь планктоноядного колючего хромиса *Acanthochromis polyacanthus* способна распознавать и избегать поглощения частиц МП, размер которых соответствует частицам корма. Уменьшение размера частиц вчетверо, приводит к увеличению их содержания в ЖКТ рыб, что негативно сказывается на росте и общем состоянии животных.

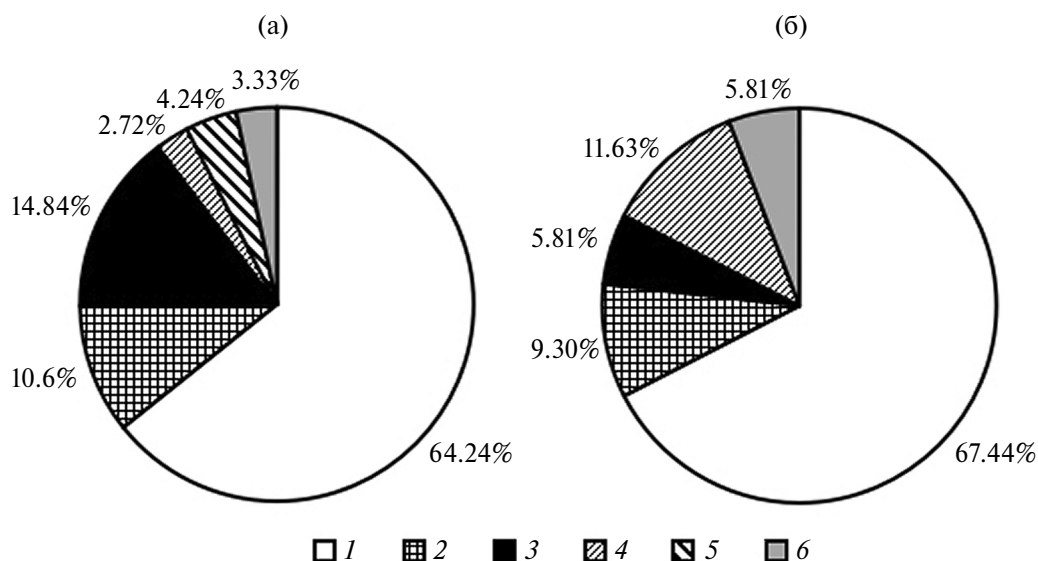


Рис. 4. Процентное соотношение цветов частиц МП в тканях рыб (а) и ракообразных (б). 1 — сине-фиолетовый цвет, 2 — красный, 3 — черный, 4 — зеленый, 5 — желтый, 6 — другой.

В нашем исследовании наиболее часто встречаемым типом МП были волокна. Аналогичные результаты были получены и для других морских (Bellas et al., 2016), эстуарных (Pazos et al., 2017) и пресноводных рыб (Sarijan et al., 2019). По-видимому, это связано с тем, что волокна, как правило, обладают меньшей массой по сравнению с другими типами МП (как, например, фрагменты или пленки) и, следовательно, могут дольше плавать в толще воды и оставаться доступным для животных (Campbell et al., 2017).

Наиболее часто встречается МП синего цвета, что подтверждается и другими работами (Jabeen et al., 2017; Sarijan et al., 2019). Однако, возможны исключения. Так, у мелких планктоноядных рыб, таких, как, например, японский анчоус *Engraulis japonicus*, доминирующим типом пластика были шарики, цвет пластика — белый или прозрачный (Tanaka, Takada, 2016).

В отличие от рыб, биология многих видов креветок дельты р. Меконг почти не изучена. Исключение — важный промысловый вид *Macrobrachium rosenbergii*, встречающийся здесь в “диком” состоянии и в многочисленных аквакультурных хозяйствах. Данные о питании *M. dolichodactylus* и *A. mirabile* не найдены, но, исходя из небольшого размера особей, можно предположить, что основу их рациона составляют детрит и мелкие представители зообентоса. Достаточно многочисленный и более описанный в литературе *M. equidens* также питается детритом и зообентосом (Murthy, Rajagopal, 1990). Ближе к океанической части дельты в уловах появляются *Mierspenaeopsis sculptilis* и *Diogenidae* sp. В основе их питания — детрит мангровых зарослей, ракообразные и моллюски (Masitah, Chong, 2002). Несмотря на это, содержание частиц МП в тканях *M. sculptilis* невелико, у *Diogenidae* sp. число частиц МП существенно выше. Обитающий здесь же рак-богомол *Cloridopsis scorpio*, по-видимому, ведет хищный образ жизни, питаясь мелкими ракообразными и моллюсками.

Исследования присутствия МП у беспозвоночных немногочисленны, в основном, они затрагивают двусторчатых моллюсков, в частности синих мидий *Mytilus edulis* (Bråte et al., 2017). Микропластик был выявлен у снежных крабов *Chionoecetes opilio* из Баренцева моря, китайского мохнаторукого краба *Eriocheir sinensis* из Балтийского моря (Bråte et al., 2017), трехпятиного краба-плавунца *Portunus sanguinolentus* из Аравийского моря (Akhter, Panhwar, 2022). Отмеченное нами число частиц МП в тканях ракообразных относительно невелико. Это может быть связано с небольшими размерами исследованных видов, и, следовательно, с небольшим размером ротового аппарата, и их обитанием в “дикой” природе. Также авторы работы (Reunura, Prommi, 2022) отмечают, что различия в содержании час-

тиц МП у гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* и белоногой креветки *Litopenaeus vannamei* обусловлены размерами особей. Это согласуется и с нашими данными — минимальное число частиц МП зарегистрировано у самого маленького из проанализированных представителя ракообразных *M. dolichodactylus*. Также авторы работы (Reunura, Prommi, 2022) отмечают, что у креветок, содержащихся в аквакультурных хозяйствах, количество частиц МП существенно выше. В ЖКТ *M. rosenbergii* выявлено 33.31 ± 19.42 частиц/особь, у *L. vannamei* — 11.00 ± 4.60 , что, по мнению этих авторов, связано с поступлением частиц МП с кормом, водой и со снастей для ловли креветок. Относительно небольшое число частиц МП на особь отмечено у обыкновенной креветки *Crangon crangon* — 1.23 ± 0.99 частиц/особь (Devriese et al., 2015) и у австралийской стеклянной креветки *Paratya australiensis* — 0.52 ± 0.55 частиц/особь (Nan et al., 2020).

В ЖКТ южного королевского краба *Lithodes santolla* из субарктических вод Чили, как и в нашем исследовании, доминирующим типом пластика были синие волокна (Andrade, Ovando, 2017), у трехпятиного краба-плавунца *Portunus sanguinolentus* выявлены преимущественно прозрачные пленки (Akhter, Panhwar, 2022). В ЖКТ коричневой креветки *Metapenaeus monoceros* и черной тигровой креветки *Penaeus monodon* из Бенгальского залива доминировали волокна, цвет пластика — черный (Hossain et al., 2020). Образование комка волокон отмечено только у *Diogenidae* sp. Ранее формирование комка у южного королевского краба *L. santolla* упоминалось в работе (Andrade, Ovando, 2017).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования МП обнаружен у 17 из 18 анализируемых видов гидробионтов. Выявлено 324 частицы МП, представленного преимущественно (>84%) мелким микропластиком (<2 мм). Доминирующим типом частиц для большинства видов рыб и ракообразных были волокна сине-фиолетового цвета, за исключением *Cynoglossus microlepis* и *Macrobrachium dolichodactylus*. По-видимому, количество частиц МП в ЖКТ гидробионтов определяется типом питания, а для ракообразных — также размерами особей. Полученные результаты свидетельствуют, что проблема пластикового загрязнения остро стоит в рассматриваемом регионе. Требуется разработка методов оценки состояния популяций гидробионтов, используемых человеком, и природоохранных мер для сохранения биоразнообразия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках темы Эколан Э-3.4 “Экосистема реки Меконг в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия” и частично в рамках темы № 124022400148-4 “Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лобус Н.В., Комов В.Т. 2016. Ртуть в мышечной ткани рыб центрального и южного Вьетнама // Биология внутр. вод. № 3. С. 103.
https://doi.org/10.7868/S0320965216030153
- Томилина И.И., Гребенюк Л.П., Лобус Н.В., Комов В.Т. 2016. Биологические эффекты действия загрязненных донных отложений водоемов центрального и южного Вьетнама на гидробионтов // Биология внутр. вод. № 4. С. 78.
https://doi.org/10.7868/S0320965216030190
- Akhter N., Panhwar S.K. 2022. Baseline study of microplastics in the gastrointestinal tract of commercial species inhabiting in the coastal waters of Karachi, Sindh, Pakistan // Front. Mar. Sci. № 9. P. 1.
https://doi.org/10.3389/fmars.2022.855386
- Andrade C., Ovando F. 2017. First record of microplastics in stomach content of the southern king crab *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae), Nassau Bay, Cape Horn, Chile // Anales del Instituto de la Patagonia. V. 45(3). P. 59.
- Bellas J., Martinez-Armenttal J., Martinez-Camara A. et al. 2016. Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts // Mar. Pollut. Bull. № 109(1). P. 55.
- Bråte I.L.N., Huwer B., Thomas K.V. et al. 2017. Micro- and macro-plastics in marine species from Nordic waters // Nordic Council of Ministers. TemaNord. P. 549.
http://dx.doi.org/10.6027/TN2017-549
- Campbell S.H., Williamson P.R., Hall B.D. 2017. Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek // Facets. № 2(1). P. 395.
- Critchell K., Hoogenboom M.O. 2018. Effects of microplastic exposure on the body condition and behaviour of planktivorous reef fish (*Acanthochromis polyacanthus*) // PLoS ONE. V. 13(3). P. e0193308.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193308
- Devriese L.I., Van Der Meulen M.D., Maes T. et al. 2015. Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the southern North Sea and channel area // Mar. Pollut. Bull. V. 98. P. 179.
https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.051
- Elizalde-Velázquez G. A., Gómez-Oliván L. M. 2021. Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health // Sci. Total Environ. V. 780. P. 146551.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146551
- Ferreira G.V.B., Barletta M., Lima A.R.A. et al. 2018. High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect // Environ. Pollut. V. 236. P. 706.
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.095
- Granek E.F., Brander S.M., Holland E.B. 2020. Microplastics in aquatic organisms: Improving understanding and identifying research directions for the next decade // Limnol., Oceanogr. Lett. V. 5. P. 1.
https://doi.org/10.1002/lol2.10145
- Hossain M.S., Rahman M.S., Uddin M.N. et al. 2020. Microplastic contamination in Penaeid shrimp from the Northern Bay of Bengal // Chemosphere. V. 238. P. 124688.
https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124688
- Jabeen K., Su L., Li J. et al. 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China // Environ. Pollut. V. 221. P. 141.
- Kasamesiri P., Thaimuangphol W. 2020. Microplastics ingestion by freshwater fish in the Chi River, Thailand // Int. J. GEOMATE. V. 18. Is. 67. P. 114.
- Li J., Yang D., Li L. et al. 2015. Microplastics in commercial bivalves from China // Environ. Pollut. V. 207. P. 190.
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018 PMID: 26386204
- Lim P., Lek S., Touch S.T. et al. 1999. Diversity and spatial distribution of freshwater fish in Great Lake and Tonle Sap River (Cambodia, Southeast Asia) // Aquat. Living Resour. V. 12(6). P. 379.
- Loan N.B., Hiếu T.T., Vinh H.H. 2014. Nutritional characteristics of gold fish (*Polynemus paradiseus*) distribution on Hau River, Vietnam // Sổ chuyên đề: Thủy sản. V. 2. P. 263.
- Lusher A.L., Hollman P.C.H., Mendoza-Hill J.J. 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome, Italy. № 615. P. 126.
- Masitah I., Chong V.C. 2002. Population and Feeding Ecology of *Parapenaeopsis scuiptilis* (Heller, 1862) in Klang Strait, Peninsular Malaysia // Malaysian J. Sci. V. 21. № 1, 2.
- Mendrik F., Parsons D., Hackney C. et al. 2019. The ecological fate of microplastics in delta and marine environments in South-East Asia, 21st EGU General Assembly, EGU2019, Proceedings from the conference held 7–12 April, 2019 in Vienna, Austria, id. 3267.
- Menon A.G.K. 1977. A systematic monograph of the tongue soles of the genus *Cynoglossus* Hamilton-Buchanan (Pisces: Cynoglossidae) // Smithson. Contrib. Zool. V. 238. P. 1.
- Mitparian T., Senarat S., Boonyoung P., Jiraungkoorskul W., Kaneko G., Kettratad J. 2021. Comprehensive morpho-histological observation of digestive system and gut content of wild-grunting toadfish, *Allenbatrachus*

- grunniens* (Linnaeus, 1758) // Maejo Int. J. Sci. Technol. V. 15(03). P. 222.
- Murthy D.K., Rajagopal K.V. 1990. Food and feeding habits of the freshwater prawn *Macrobrachium equidens* Dana // Indian J. Animal Sci. V. 60(1). P. 118.
- Nan B., Kellar C., Craig N.J. et al. 2020. Identification of microplastics in surface water and Australian freshwater shrimp *Paratya australiensis* in Victoria, Australia // Environ. Pollut. V. 259. P. 113865. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113865>
- Pazos R.S., Maiztegui T., Colautti D.C. et al. 2017. Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Rio de la Plata estuary // Mar. Pollut. Bull. V. 122(1–2). P. 85.
- Perez-Albaladejo E., Sole M., Porte C. 2020. Plastics and plastic additives as inducers of oxidative stress // Curr. Opin. Toxicol. V. 20–21. P. 69. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2020.07.002>
- Plastics — The Facts 2022 // Plastics Europe. Grain. Brussels, 2022. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/> (дата обращения: 21.12.2022).
- Quang Đ.M., Duy N.T., Sóc D. 2017. Food and feeding habits of the broadhead sleeper *Eleotris melanostoma* from coastline in Soc Trang // Proceedings of the 7th national scientific conference on ecology and biological resources Hanoi. 20/10/2017. P. 1873.
- Rainboth W.J. 1996. Fishes of the Cambodian Mekong. FAO species identification field guide for fishery purposes. FAO, Rome. P. 265.
- Reunura T., Prommi T.O. 2022. Detection of microplastics in *Litopenaeus vannamei* (Penaeidae) and *Macrobrachium rosenbergii* (Palaemonidae) in cultured pond // PeerJ. 10(1):e12916. <https://doi.org/10.7717/peerj.12916>
- Sarijan S., Azman S., Said M.I.M., Lee M.H. 2019. Ingestion of Microplastics by Commercial Fish in Skudai River, Malaysia // Environ. Asia. V. 12(3). P. 75. <https://doi.org/10.14456/ea.2019.47>
- Schmidt C., Krauth T., Wagner S. 2017. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea // Environ. Sci. Technol. V. 51 (21). P. 12246. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
- Tanaka K., Takada H. 2016. Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters // Sci. Rep. V. 6. P. 34351. <https://doi.org/10.1038/srep34351>
- Vendel A.L., Bessa F., Alves V.E.N. et al. 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures // Mar. Pollut. Bull. V. 117. P. 448. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.081>
- Vivekanand A.C., Mohapatra S., Tyagi V.K. 2021. Microplastics in aquatic environment: Challenges and perspectives // Chemosphere. V. 282. P. 131151. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131151>
- Xu S., Ma J., Ji R. et al. 2020. Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects // Sci. Total Environ. V. 703. P. 134699.

Peculiarities of Microplastic Accumulation in Fish and Crustaceans of the Mekong Delta (Vietnam)

I. I. Chesnokova^{1, 2, *}, S. V. Statkevich^{1, 2}, E. P. Karpova^{1, 2}, Nguyen Dinh Cu²

¹Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of Russian Academy Sciences, Sevastopol, Russia

²Joint Russian–Vietnamese Tropical Research and Technological Center of the A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Ho Chi Minh City, Vietnam

*e-mail: mirenri@bk.ru

Plastic pollution of Asian rivers is one of the global problems of the region. Work was carried out to identify microplastic particles in the tissues of some species of hydrobionts from the Mekong Delta, one of the largest rivers in Southeast Asia. The method of tissue decomposition with 30% hydrogen peroxide was used. The presence of microplastic particles was revealed in 11 out of 12 fish species and in 6 crustaceans species. The dominant type of plastic in both fish and crustaceans was blue-violet fibers.

Keywords: fish, crustaceans, Delta, Mekong, microplastics