

Служит ли загрязнение водоемов причиной аномалий прикрепительных клапанов моногеней (*Diplozoidae*) – паразитов пресноводных рыб?

А. Е. ЖОХОВ^{1, 2}, М. Н. ПУГАЧЁВА², О. Н. ЖИГИЛЕВА¹

¹Лаборатория AquaBioSafe, Тюменский государственный университет
625003, Тюмень, ул. Володарского, 6

²Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н
E-mail: zhokhov@ibiw.ru

Статья поступила 05.01.2022

После доработки 28.02.2022

Принята к печати 15.03.2022

АННОТАЦИЯ

Проведено сравнительное изучение морфологии прикрепительных клапанов трех видов диплозоид (Monogenea: Diplozoidae) с жабр рыб из загрязненных водоемов (р. Обь, Рыбинское водохранилище, Россия) и незагрязненного оз. Тана (Африка). Исследование прикрепительных клапанов выявило большое число аномалий у *Paradiplozoon megan* (Bychowsky et Nagibina, 1959) от язя и *Diplozoon paradoxum* von Nordmann, 1832 от леща, пойманных в р. Обь и Рыбинском водохранилище. Различные аномалии строения клапанов обнаружены также у *Paradiplozoon* spp. от усачей из оз. Тана, которое не испытывает промышленного загрязнения. По литературным данным аномалии в строении прикрепительного аппарата у диплозоид обнаружены и в относительно чистых водоемах. Только в чистых водоемах регистрируется такой тип аномалий, как образование зачатков пятого и шестого клапанов. Выдвигается гипотеза, что загрязнение водоемов – не основная причина образования аномалий строения клапанов, существует естественная (“фоновая”) частота встречаемости аномалий у диплозоид.

Ключевые слова: паразиты, рыбы, моногеней, Diplozoidae, тератогенные нарушения, загрязнение.

В загрязненной водной среде, особенно при наличии тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей, у водных организмов часто наблюдаются различные нарушения функций и морфологических структур. Так, у личинок хирономид отмечаются деформации сильнохитинизированных структур ротового аппарата под воздействием органических загрязняющих веществ [Томилина и др., 2011; Гребенюк, Томилина, 2014].

Основная часть загрязняющих веществ концентрируется в донных отложениях, накапливается в бентосных организмах и в дальнейшем передается по трофическим цепям. К этим веществам относятся тяжелые металлы и стойкие органические загрязнители, характеризующиеся низкой растворимостью в воде и хорошей растворимостью в липидах [Нахшина, 1985; Никаноров и др., 2000]. Многие из них характеризуются высокой хрони-

ческой токсичностью, способны вызывать генотоксические эффекты [Ulbrich, Stahlmann, 2004]. Жабры рыб, по-видимому, служат лучшим примером наиболее уязвимого органа-мишени, быстро реагирующего на изменение качества воды. Структурные изменения, происходящие в жабрах рыб в присутствии загрязнителей, подробно рассмотрела В. Е. Матей [1996]. Под влиянием токсических веществ происходят гипертрофия и гиперплазия клеток эпителия жабр, слияние или скручивание респираторных ламелл, образование пленки слизи на поверхности жабр, затрудняющей диффузию газов.

На жабрах рыб паразитирует большое число видов моногеней. Питаясь кровью или слизью рыб, эти эктопаразиты могут получать загрязняющие вещества от хозяев. Вместе с тем, контактируя с загрязненной водой, они испытывают также непосредственное влияние содержащихся в воде токсикантов. Известны примеры, когда кишечные паразиты накапливали тяжелые металлы и полихлорированные бифенилы в больших концентрациях, чем окружающие ткани рыбы-хозяина [Sures, Taraschewski, 1995; Brázová et al., 2012; Erasmus et al., 2020]. Исследований, демонстрирующих прямое влияние загрязняющих веществ на моногеней, крайне мало [Gheorgiu et al., 2006]. Разумно ожидать, что загрязнение затронет как рыбу-хозяина, так и ее эктопаразитов, особенно моногеней, населяющих жабры.

Крупные моногенеи семейства Diplozoidae паразитируют у карповых рыб и прикрепляются к жабрам с помощью склеротизированных прикрепительных клапанов. Аномалии развития этих клапанов ранее были отмечены у *Diplozoön paradoxum* (Nordmann, 1832) от леща в Куйбышевском [Жарикова и др., 1992] и Рыбинском водохранилищах [Куперман, 1992; Šebelová et al., 2002], у *Paradiplozoön homoion* (Bychowsky & Nagibina, 1959), *P. erogensi* (Pejčoch, 1968) и *P. Megan* (Bychowsky & Nagibina, 1959) от голавля в р. Мораве, Чехия [Šebelová et al., 2002]. В водоемах на территории Польши аналогичные нарушения обнаружены у *P. homoion* и *P. Megan* от плотвы, у *P. bliccae* (Reichntnbach-Klinke, 1961) от синца и у *D. paradoxum* от леща [Dzika, 2002]. Аномалии строения элементов прикрепительного аппарата обнаружены также у мелких

моногеней рода *Gyrodactylus* в загрязненном ручье [Ройтман, Соколов, 1998]. Во всех перечисленных примерах аномалии строения клапанов наблюдались в загрязненных участках водоемов и трактовались как результат мутагенного действия токсических веществ. В настоящей статье проверяется гипотеза о связи частоты аномалий прикрепительных клапанов у трех видов диплозоонов с загрязнением водоема.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Всего для исследования была собрана 131 особь диплозоонов четырех видов (*Paradiplozoön Megan*, *Paradiplozoön* spp., *Diplozoön paradoxum*) из трех различных водоемов. Моногеней исследовались на наличие аномалий прикрепительных клапанов с помощью стереомикроскопа (Olympus CX43) с использованием фазового контраста и программы анализа изображений. Задние концы червей с клапанами фиксировали без окраски, часть червей окрашивали уксусно-кислым кармином, обезживали в серии спиртов, просветляли и заключали в канадский бальзам. Морфология клапанов детально изучена, их строение сопоставлено со строением нормально развитых клапанов.

Река Обь. На участке реки г. Нижневартовск – г. Сургут – г. Ханты-Мансийск в июле 2021 г. исследованы 62 язя *Leuciscus idus* L. (стандартная длина 24–40 см). Рыб приобретали у рыбаков и исследовали на месте лова. Всего найдено 32 экз. *Paradiplozoön Megan*.

Средняя и нижняя Обь подвержена нефтяному загрязнению, продукты которого содержатся в воде и скапливаются в донных отложениях, негативно влияя на все компоненты экосистемы реки [Московченко, Бабушкин, 2014; Русских и др., 2020].

Рыбинское водохранилище. Из данного водоема исследованы два вида рыб. Язи (стандартная длина 17–39 см) в количестве 36 экз. пойманные сетью в августе–октябре 2021 г. в устье р. Сутки, впадающей в Волжский плес водохранилища. Рыб доставляли в лабораторию и сразу исследовали на наличие паразитов. Лещи *Abramis brama* (длина тела 34–43 см) в количестве 31 экз. были пойманы в октябре 2021 г. донным тралом с экспедиционного судна в Главном плесе водохранилища.

Пойманных рыб после умерщвления вскрывали в лаборатории на судне. Всего 32 экз. *P. megan* от язей и 36 экз. *D. paradoxum* от лещей были исследованы на наличие аномалий прикрепительных клапанов.

Зимой 1987 г. произошла крупная авария на очистных сооружениях г. Череповца и Череповецкого металлургического комбината. В Шекснинский плес Рыбинского водохранилища поступил большой объем сточных вод коксохимического производства [Флеров, 1990]. Высокие концентрации полициклических углеводородов обнаружены в рыбе [Козловская и др., 1990]. Спустя 30 лет экологическая ситуация в водохранилище улучшилась, но стойкие органические загрязнители по-прежнему остаются в донных отложениях и распространяются по пищевым цепям [Герман и др., 2010; Чуйко и др., 2010].

Озеро Тана, Эфиопия. Из оз. Тана возле г. Бахар-Дар исследовано 89 экз. усачей рода *Labeobarbus* (длина тела 23–51 см) в августе–октябре 2006–2008 гг. Рыб ловили сетью или приобретали у рыбаков. Сразу после отлова рыбы исследовались в лаборатории. Всего 31 экз. *Paradiplozoon* spp. было собрано и исследовано на наличие аномалий прикрепительных клапанов. В озере встречаются два разных вида рода *Paradiplozoon*.

Вода в озере имеет высокую мутность. Хотя озеро не испытывает промышленного загрязнения, обнаружено фекальное загрязнение и наличие токсичных цианобактерий, особенно у берегов и в устьях рек [Wondim, 2016; Goshu et al., 2017].

рон (рис. 1, а, 2, а). У всех трех изученных нами видов диплозоонов обнаружены аномалии прикрепительных клапанов, которые можно разделить на несколько типов: 1) отсутствие отдельных клапанов (рис. 1, е, 2, в); 2) формирование зачатка 5-го клапана (рис. 2, г); 3) изменение размеров клапанов (рис. 1, а, в, д, 2, д); 4) деформация и отсутствие нескольких склеритов на клапанах (см. рис. 1, а, д, 2, б); 5) смещение левого и правого ряда клапанов относительно друг друга (рис. 1, г); 6) комбинация перечисленных выше морфологических аномалий (табл. 2).

Наибольшее количество аномалий прикрепительных клапанов обнаружено у *P. megan* от язя из р. Обь (15,6 % от числа исследованных особей). В Рыбинском водохранилище только одна особь (2,8 %) *P. megan* от язя и две особи (5,6 %) *D. paradoxum* от леща имели аномалии. Главный плес водохранилища (место лова лещей) находится примерно в 80 км от Шекснинского плеса и слабо пострадал во время аварии на Череповецком металлургическом комбинате. Волжский плес (место лова язей) удален от Шекснинского плеса на 120 км и считается фоновым районом для бассейна Верхней Волги с низкой концентрацией хлорорганических соединений. В оз. Тана морфологические аномалии имели три особи (9,7 %) *Paradiplozoon* spp., хотя озеро не испытывает никакого промышленного загрязнения. Данные по этим трем водоемам показывают, что наибольший процент моногеней с аномалиями клапанов наблюдался в р. Обь, испытывающей нефтяное загрязнение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные о зараженности рыб приведены в табл. 1. В норме у диплозоонов имеется по четыре клапана с левой и с правой сто-

ОБСУЖДЕНИЕ

Паразитов рыб давно используют как весьма чувствительные индикаторы антропогенного загрязнения экосистем [Аникеева, 1982б;

Т а б л и ц а 1

Экстенсивность (ЭИ, %) и интенсивность инвазии (ИИ) рыб диплозоонами в различных водоемах

Вид	р. Обь		Рыбинское водохранилище		оз. Тана	
	ЭИ	ИИ*	ЭИ	ИИ*	ЭИ	ИИ*
<i>D. paradoxum</i>	–	–	51,6	1,7 (1–3)	–	–
<i>P. megan</i>	6,5	8 (2–18)	11,1	8 (2–10)	–	–
<i>Paradiplozoon</i> sp.	–	–	–	–	19,1	1,8 (1–5)

* Указано среднее, в скобках – минимальное и максимальное количество паразитов на одну особь хозяина.

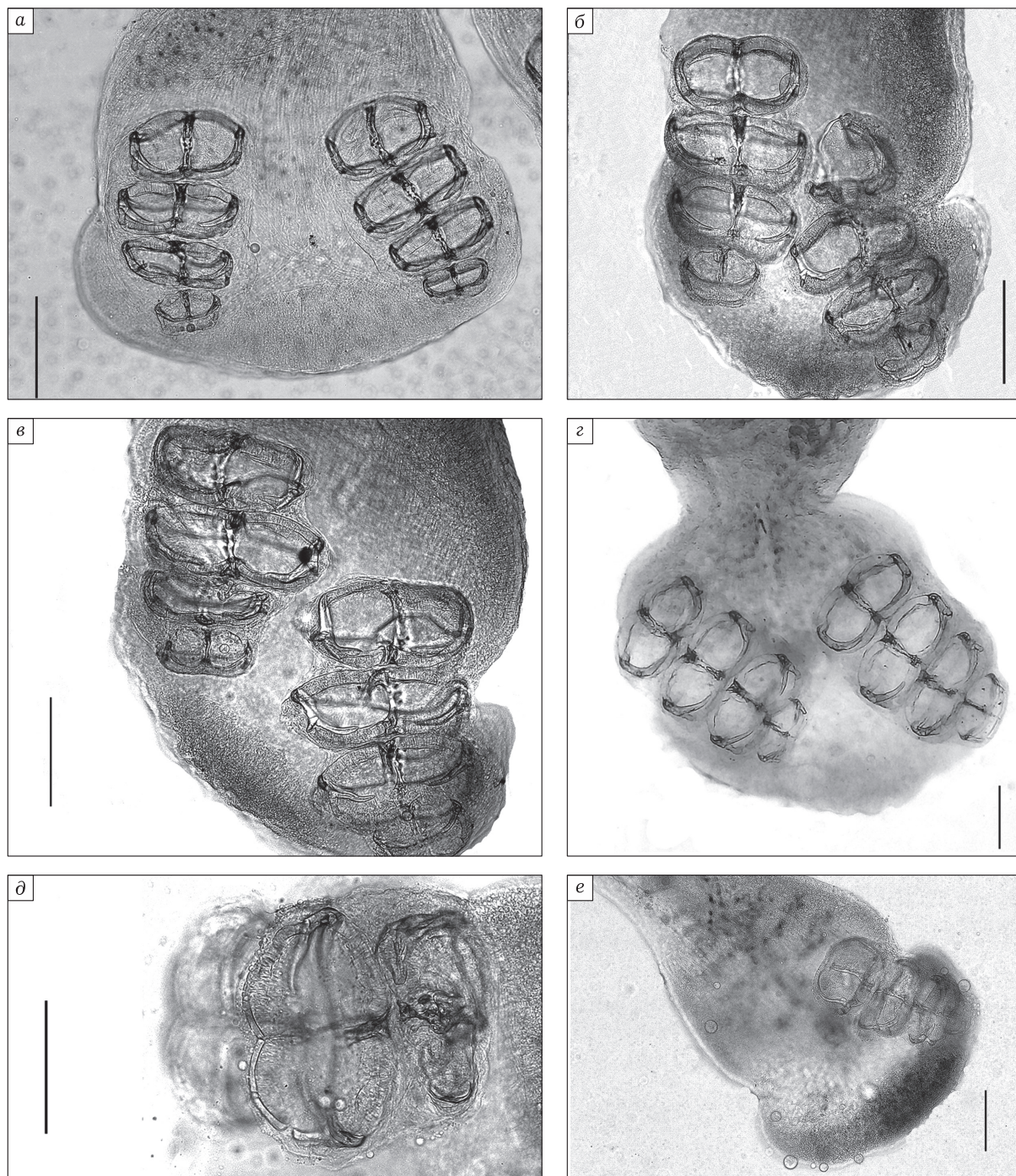


Рис. 1. Прикрепительный аппарат *Paradiplozoon megan*. а – нормальное расположение и размер клапанов; б – деформация и отсутствие склеритов в правом ряду; в – anomalно маленький размер клапана в левом ряду и асимметричное расположение рядов клапанов; г – асимметричное расположение рядов клапанов; д – деформация склеритов; е – отсутствие левого ряда клапанов; неокрашенные препараты. Размерная шкала во всех случаях 200 мкм

Куперман, 1992]. Моногенеи как эктопаразиты, которые находятся в непосредственном контакте с водными загрязнителями и имеют прямой жизненный цикл, идеально подходят

для оценки экологического состояния водоемов. Мелкие моногенеи очень чувствительны к качеству воды и реагируют на загрязнение снижением численности и видового разнообразия

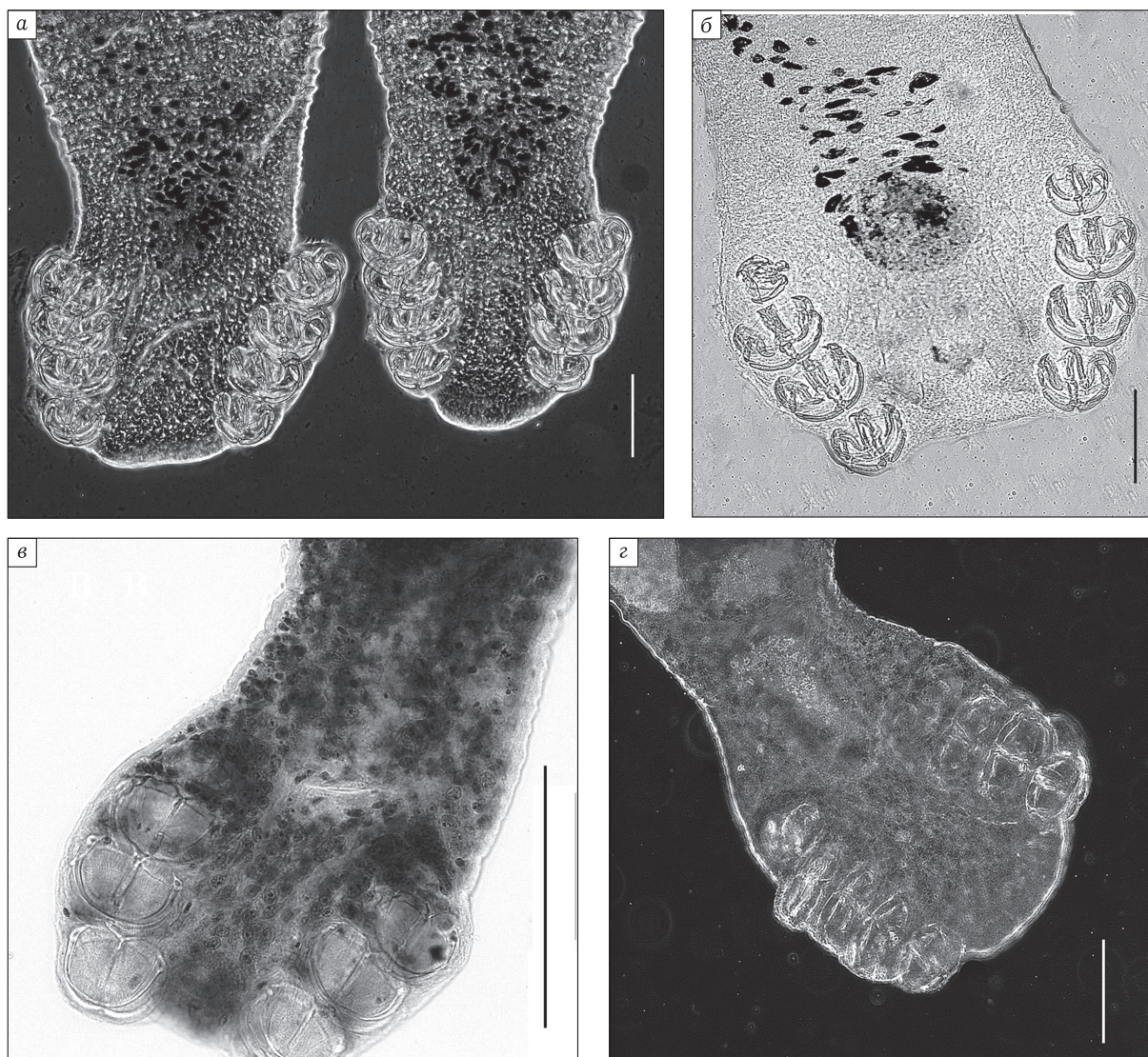


Рис. 2. Прикрепительный аппарат *Paradiplozoon* spp. а – нормальное расположение и размер клапанов (неокрашенный препарат, фазовый контраст); б – anomalно маленький размер клапана в левом ряду (неокрашенный препарат); в – отсутствие четвертого клапана в обоих рядах (окрашенный кармином препарат); г – зачаток пятого клапана в левом ряду (окрашенный кармином препарат, фазовый контраст).

Размерная шкала во всех случаях 200 мкм

[Аникеева, 1982а; Жарикова, 1993; Dušek et al., 1998]. Крупные моногении сем. Diplozoidae проявляют устойчивость ко многим факторам антропогенного воздействия на водоемы. Они положительно реагируют на эвтрофирование водоемов [Koskivaara, Valtonen, 1991; Zargar et al., 2012], на воздействие промышленных стоков [Куперман, 1992; Šebelová et al., 2002], устойчивы к повышению солености воды [Дубинин, 1948; Османов, Юсупов, 1985], но отрицательно реагируют на повышенные концентрации металлов [Gilbert, Avenant-Oldewage, 2016] и закисление водоемов

[Жохов, Тютин, 1994]. Разные виды диплозоид по-разному реагируют на стоки целлюлозно-бумажных заводов [Аникеева, 1982а; Koskivaara, Valtonen, 1991].

Аномалии в структуре прикрепительных органов Diplozoidae были известны давно [Bovet, 1967; Oliver, Reichenbach-Klinke, 1973]. Тератогенные нарушения разного типа в большом количестве были найдены у *Paraiplozoon homoion gracile* (Reichenbach-Klinke, 1961) от *Barbus meridionalis* Risso, 1827 из небольших рек в Восточных Пиренеях, Франция [Oliver, 1970; Oliver, Reichenbach-Klinke, 1973]. В дан-

Т а б л и ц а 2
Аномалии прикрепительных клапанов диплозоонов

Вид	Водоем	Номер паразита и положение клапанов*	Описание аномалии
<i>P. megan</i>	р. Обь	№ 1–4Л	Размер клапана меньше, чем размер 3Л; срединная пластинка деформирована; остроконечная шпора меньшего размера, чем у 3Л
		№ 2–3П	Размер клапана меньше, чем размер 4П и 2П; клапан асимметричен
		№ 3–4П	Левая половина клапана недоразвита
		№ 4–2Л, 3Л, 3П	Левый и правый ряды клапанов расположены несимметрично, смещены друг относительно друга; 3Л и 3П клапаны шире, чем 4Л и 4П; 2Л асимметричен и меньшего размера, чем 2П
		№ 5	Левый и правый ряды клапанов смещены относительно друг друга
<i>P. megan</i>	Рыбинское водохранилище	№ 1	Полностью отсутствует левый ряд клапанов
<i>D. paradoxum</i>	»	№ 1, 2	Полностью отсутствует правый ряд клапанов
<i>Paradiplozoon</i> sp.	оз. Тана	№ 1–4Л	Размер клапана меньше, чем размер 3Л; клапан недоразвит
		№ 2	В левом и правом ряду по три клапана вместо четырех
		№ 3	В левом ряду виден зачаток пятого клапана

* Л – левое, П – правое положение клапанов.

ных работах ничего не сообщается о качестве воды в исследованных реках, лишь высказывается сомнение в их загрязненности. По-видимому, эти реки можно считать незагрязненными. Причины морфологических аномалий авторы связывают с температурой, вероятно, ориентируясь на работу Бовета [Bovet, 1967], в которой у *Diplozoon paradoxum* в эксперименте наблюдались нарушения в строении клапанов при развитии яиц как при низкой, так и высокой температуре.

После публикации статьи Б. И. Купермана [1992] с фотографиями аномально сформированных клапанов у *D. paradoxum* в результате экологической катастрофы на Рыбинском водохранилище эта тема вновь привлекла внимание паразитологов. Аналогичные аномалии были описаны у целого ряда видов диплозоид [Ройтман, Соколов, 1998; Dzika, 2002; Šebelová et al., 2002; Dzika et al., 2007]. Для исследований выбирали загрязненные и контрольные (“чистые” или “относительно чистые”) водоемы. При этом моногении с аномалиями прикрепительных клапанов были найдены как в загрязненных, так и в “чистых” водоемах, но процент особей с аномалиями в загрязненных водоемах был выше, чем в “чистых”.

В нашем исследовании аномалии прикрепительных клапанов обнаружены у *P. megan* как в р. Оби, испытывающей нефтяное загрязнение, так и в относительно чистом участке Рыбинского водохранилища.

Из представленных результатов ясно, что токсиканты влияют на морфологию моногений, и наиболее ярко это проявляется в загрязненных водоемах [Куперман, 1992; Ройтман, Соколов, 1998; Dzika, 2002; Šebelová et al., 2002; Dzika et al., 2007]. Аномалии органов прикрепления могут быть обусловлены мутагенным действием токсических веществ, находящихся в воде и, вероятно, накопленных в тканях и органах рыб-хозяев. Однако наше исследование показало, что подобные аномалии строения клапанов встречаются у моногений и в действительно чистом оз. Тана, не испытывающем промышленного загрязнения.

Накопленный к настоящему времени материал показывает, что наиболее распространенными типами аномалий являются нарушение симметрии расположения рядов клапанов, уменьшение количества клапанов и деформация их строения и размеров. Перечисленные аномалии можно обнаружить у целого ряда представителей Octomacrinea, описанных

из незагрязненных водоемов [Хотеновский, 1985]. В норме у диплозоид два ряда клапанов 4 : 4 расположены продольно и симметрично по обе стороны клапана. Нередко наблюдается смещение левого и правого рядов клапанов относительно друг друга, так что четвертый клапан правого ряда находится против первого клапана левого ряда или один ряд клапанов повернут на 45 градусов по отношению к другому. Есть примеры, когда ряды клапанов расположены не параллельно друг другу, а последовательно (один над другим). Подобный тип аномалий можно заметить у *Paradiplozoon schizothorazi* (Iksanov, 1965), *P. capoetobrama* (Gavrilova, 1964), *P. alburni* Khotenovsky, 1982, *Paradiplozoon doi* (Ha Ky, 1971) [Хотеновский, 1985]. Уменьшение количества клапанов описано для *Sindiplozoon diplo-discus* (Nagibina, 1965), *Paradiplozoon amurense* (Achmerov, 1974), *P. tadzhikistanicum* (Gavrilova et Dzhililov, 1965), *Afrodiplozoon polycotyleus* (Paperna, 1973) [Хотеновский, 1985]. При переописании последнего вида авторы специально отметили, что число клапанов в рядах регулярно меняется от 8 до 9 [Přikrylová et al., 2018] или от 8 до 10 [Paperna, 1973]. У *P. hotmoion gracile* в горных реках Франции [Oliver, Reichenbach-Klinke, 1973] обнаружены аномалии клапанов всех типов, в том числе образование зачатков пятого и шестого клапанов. В нашем материале из оз. Тана также была найдена одна особь *Paradiplozoon* sp. с зачатком пятого клапана. Аномалии клапанов у перечисленных выше видов обнаружены в водоемах, не подверженных загрязнению. Например, особи *S. diplo-discus* и *P. amurense* с отсутствующими клапанами описаны из оз. Болонь (приток Амура в Хабаровском крае), на берегах которого нет крупных населенных пунктов [Хотеновский, 1985]. Образование зачатков дополнительных клапанов, вероятно, редкий или видоспецифичный тип аномалий у диплозоид. Бовет [Bovet, 1967] специально отмечает отсутствие этого типа аномалий у *Diplozoon paradoxum*, хотя им были рассмотрены несколько сотен червей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аномально сформированные клапаны у диплозоид от пресноводных рыб могут рассматриваться как тератогенные нарушения и ис-

пользоваться как чувствительный индикатор качества воды, в том числе, ее загрязнения генотоксикантами. Однако при этом необходимо учитывать, что аномалии в строении прикрепительного аппарата у диплозоид могут быть обнаружены и в относительно чистых водоемах. Кроме того, разные виды диплозоид и различные виды аномалий, по-видимому, характеризуются разной чувствительностью и прогностической ценностью. В частности, пока не ясно, можно ли рассматривать появление зачатков дополнительных клапанов, известных пока из оз. Тана и пиренейских рек [Oliver, Reichenbach-Klinke, 1973], как видоспецифичный тип нарушений? Для окончательного решения вопроса о том, какова естественная (“фоновая”) частота встречаемости аномалий у диплозоид и какие из известных типов аномалий прикрепительного аппарата действительно связаны с качеством среды, требуется накопление данных по различным видам диплозоид, обитающих в действительно чистых водоемах, а также в водоемах с различным набором токсикантов.

Исследование выполнено при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

ЛИТЕРАТУРА

- Аникеева Л. В. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на гельминтофауну рыб Выгозера // Экология паразитических организмов в биогеоценозах Севера. Петрозаводск, 1982а. Карельский филиал АН СССР. С. 83–94.
- Аникеева Л. В. Использование гельминтологических данных при оценке состояния водоема // Экология паразитических организмов в биогеоценозах Севера. Петрозаводск, 1982б. Карельский филиал АН СССР. С. 72–83.
- Герман А. В., Законнов В. В., Мамонтов А. А. Хлорогенические соединения в донных отложениях, бентосе и рыбе Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Водн. ресурсы. 2010. Т. 37, № 1. С. 84–88.
- Гребенюк Л. П., Томилина И. И. Морфологические деформации сильнохитинизированных структур ротового аппарата личинок рода *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) как показатель органического загрязнения пресных водоемов // Биология внутр. вод. 2014. № 3. С. 79–91. [Grebennyuk L. P., Tomilina I. I. Morphological deformations of hard-chitinized mouthpart structures in larvae of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) as the index of organic pollution in freshwater ecosystems // Inland Water Biol. 2014. Vol. 7 (3). P. 273–285. doi: 10.1134/S1995082914030092].
- Дубинин В. Б. Влияние осолонения реки Малый Узень на паразитофауну населяющих ее рыб // Зоол. журн. Т. 27, вып. 4. С. 335–342.

- Жарикова Т. И. Влияние антропогенного загрязнения водоемов на эктопаразитов леща (*Abramis brama*) // Зоол. журн. 1948. Т. 72, № 2. С. 73–83.
- Жарикова Т. И., Изюмова Н. А., Степанова М. А. Влияние промышленных и бытовых стоков на эктопаразитов леща Куйбышевского водохранилища (Волго-Камский плес) // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ РАН). 1992. № 95. С. 56–63.
- Жохов А. Е., Тютин А. В. Паразитофауна рыб в условиях acidификации озер // Структура и функционирование экосистем acidных озер: тр. ИБВВ РАН. Вып. 70 (73). СПб.: Наука, 1994. С. 186–201.
- Козловская В. И., Павлов Д. Ф., Чуйко Г. М., Халько В. В., Винников Ю. Я., Анохин С. В. Влияние загрязняющих веществ на состояние рыбы в Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 123–143.
- Куперман Б. И. Паразиты рыб как биоиндикаторы загрязнения водоемов // Паразитология. 1992. Т. 26, № 6. С. 479–482.
- Матей В. Е. Жабры пресноводных костистых рыб: морфофункциональная организация, адаптация, эволюция. СПб.: Наука, 1996. 204 с.
- Московченко Д. В., Бабушкин А. Г. Нефтяное загрязнение поверхностных вод на территории ХМАО-Югры // Экология и промышленность России. 2014. № 4. С. 34–38. doi.org/10.18412/1816-0395-2014-4-34-38
- Нахшина Е. П. Тяжелые металлы в системе “вода – донные отложения” водоемов (обзор) // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21, № 2. С. 80–90.
- Никаноров А. М., Хоружая Т. А., Бражникова Л. В., Жулидов А. М. Мониторинг качества вод: Оценка токсичности. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 159 с.
- Османов С. О., Юсупов О. Влияние осолонения Аральского моря на паразитофауну рыб // Паразитол. сб. Т. 33. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. С. 14–43.
- Ройтман В. А., Соколов С. Г. Тератологические изменения паразитов представителей рода *Gyrodactylus* (Monogenea) у серебряного карася (*Carassius carassius gibelio*) // Биология внутр. вод. 1998. № 1. С. 67–73.
- Русских И. В., Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б., Кадычагов П. Б., Иванов А. А. Идентификация загрязняющих компонентов в реке Оби в районах нефтедобычи // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия. 2020. Т. 13 (2). С. 157–166. doi: 10.17516/1998-2836-0171
- Томилина И. И., Гребенюк Л. П., Чуйко Г. М. Токсикологическая и тератогенная оценка донных отложений Рыбинского водохранилища // Биология внутр. вод. 2011. № 3. С. 78–87. [Tomilina I. I., Grebenyuk L. P., Chuiiko G. M. Toxicological and teratological assessment of bottom sediments from the Rybinsk Reservoir // Inland Water Biol. 2011. Vol. 4 (3). P. 373–382. doi: 10.1134/S1995082911030187].
- Флеров Б. А. Экологическая обстановка на Рыбинском водохранилище в результате аварии на очистных сооружениях г. Череповца в 1987 г. // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 3–11.
- Хотеновский И. А. Подотряд Octomacrinea Khotenovsky. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 263 с. (Фауна СССР. Новая серия. № 132. Моногенеи).
- Чуйко Г. М., Законнов В. В., Морозов А. А., Бродский Е. С., Шелепчиков А. А., Фешин Д. Б. Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) Рыбинского водохранилища // Биология внутр. вод. 2010. № 2. С. 98–108. [Chuiiko G. M., Zakonnov V. V., Morozov A. A., Brodskii E. S., Shelepchikov A. A., Feshin D. B. Spatial distribution and qualitative composition of polychlorinated biphenils and organochlorine pesticides in bottom sediments and bream (*Abramis brama* L.) from the Rybinsk Reservoir // Inland Water Biol. 2014. Vol. 3 (2). P. 193–202. doi: 10.1134/S199508291002015X].
- Bovet J. Contribution a la morphologie et a la biologie de *Diplozoon paradoxum* v. Nordmann, 1832 // Bulletin de la Societe Neuchateloise des Sciences Naturelles. Ser. 1967. Vol. 3. P. 64–159.
- Brázová T., Hanzelová V., Miklisová D. Bioaccumulation of six PCB indicator congeners in a heavily polluted water reservoir in Eastern Slovakia: tissue-specific distribution in fish and their parasites // Parasitol. Res. 2012. Vol. 111. P. 779–786. doi: 10.1007/s00436-012-2900-3
- Dušek L., Gelnar M., Šebelova Š. Biodiversity of parasites in a freshwater environment with respect to pollution: metazoan parasites of chub (*Leuciscus cephalus* L.) as a model for statistical evaluation // Int. J. Parasitol. 1998. Vol. 28. P. 1555–1571.
- Dzika E. Deformations of the attachment organ in Diplozoidae (Palombi, 1949) (Monogenea) // Wiad. Parazytol. 2002. Vol. 48. P. 69–77.
- Dzika E., Kusztala A., Kusztala M. Parasites of carp bream, *Abramis brama*, from Lake Jamno, Poland // Helminthologia. 2007. Vol. 44. P. 222–225.
- Erasmus J. H., Wepener V., Nachev M., Zimmermann S., Malherbe W., Sures B., Smit N. J. The role of fish helminth parasites in monitoring metal pollution in aquatic ecosystems: a case study in the world's most productive platinum mining region // Parasitol. Res. 2020. https://doi.org/10.1007/s00436-020-06813-1
- Gheorgiu C., Marcogliese D. J., Scott M. Concentration-dependent effects of waterborne zinc on population dynamics of *Gyrodactylus turnbulli* (Monogenea) on isolated guppies (*Poecilia reticulata*) // Parasitology. 2006. Vol. 132. P. 225–232. doi:10.1017/S003118200500898X
- Gilbert B. M., Avenant-Oldewage A. Effects of altered water quality and trace elements on the infection variables of *Paradiplozoon ichthyoxanthos* (Monogenea: Diplozoidae) from two sites in the Vaal River system, South Africa // Acta Parasitologica. 2016. Vol. 61 (1). P. 52–62. doi: 10.1515/ap-2016-0005
- Goshu G., Koelmans A. A., Klein J. J. M. Water quality of Lake Tana basin, upper Blue Nile, Ethiopia. A review of available data // Soc. and Ecol. Syst. Dynamics. 2017. P. 127–141.
- Koskivaara M., Valtonen E. T. *Paradiplozoon homoion* (Monogenea) and some other gill parasites on roach *Rutilus rutilus* in Finland // Aqua Fennica. 1991. Vol. 21. P. 37–143.
- Oliver G. Observations sur quelques poissons des eaux douces et saumâtres des Pyrénées-Orientales // Vie et Milieu, Observatoire Océanologique – Laboratoire Arago. 1970. Vol. 21. P. 199–207. hal-02959419
- Oliver G., Reichenbach-Klinke Heinz-H. Observations sur le genre *Diplozoon* von Nordmann, 1832 en Langue-

- doc-Roussillon // Annales de Parasitologie humaine et comparée (Paris). 1973. T. 48, N 3. P. 447–456.
- Paperna I. New species of Monogenea (Vermes) from African freshwater fish. A preliminary report // Revue de Zoologie et de Botanique Africaines. 1973. Vol. 87. P. 505–518.
- Přikrylová I., Mašová Š., Gelnar M., Matla M. M., Tavakol S., Luus-Powell W. J. Redescription of the genus *Afrodiplozoon* Khotenovski, 1981 and its only known species *Afrodiplozoon polycotyleus* (Paperna, 1973) (Monogenea: Diplozoidae) using a combined multidisciplinary approach // Parasitology International. 2018. Vol. 67. P. 245–252. doi.org/10.1016/j.parint.2017.11.008
- Šebelová Š., Kuperman B., Gelnar M. Abnormalities of the attachment clamps of representatives of the family Diplozoidae // J. Helminthol. 2002. Vol. 76. P. 249–259. doi: 10.1079/JOH2002133
- Sures B., Taraschewski H. Cadmium concentration in two adult acanthocephalans, *Pomphorhynchus laevis* and *Acanthocephalus lucii*, as compared with their fish hosts and cadmium and lead levels in larvae of *A. lucii* as compared with their crustacean host // Parasitol. Res. 1995. Vol. 81. P. 494–497.
- Ulbrich B., Stahlmann R. Developmental toxicity of polychlorinated biphenils (PCBs): a systematic review of experimental data // Arch. Toxicol. 2004. Vol. 78. P. 252–268.
- Wondim Y. K. Water quality status of Lake Tana, Ethiopia // Civil and Environmental. 2016. Vol. 8, N 9. P. 39–51.
- Zargar U. R., Chishti M. Z., Yousuf A. R., Fayaz A. Infection level of monogenean gill parasite, *Diplozoon kashmirensis* (Monogenea, Polyopisthocotylea) in the Crucian Carp, *Carassius carassius* from lake ecosystems of an altered water quality: What factors do have an impact on the *Diplozoon* infection? // Veterinary Parasitology. 2012. Vol. 189. P. 218–226. doi.org/10.1016/j.jvet-par.2012.04.029

Is water pollution the only cause of abnormalities of the attachment clamps of monogeneans (Diplozoidae), a parasite of freshwater fish?

A. E. ZHOKHOV^{1, 2}, M. N. PUGACHEVA², O. N. ZHIGILEVA¹

¹*AquaBioSafe Laboratory, Tyumen State University
625003, Tyumen, Volodarskogo str., 6*

²*Papanin Institute for Biology of Inland Waters
Russian Academy of Sciences (IBIW RAS)
152742, Borok, Yaroslavl Province
E-mail: zhokhov@ibiw.ru*

A comparative study of the haptor morphology of three species of diplozoon (Monogenea: Diplozoidae) from the gills of fish from polluted water bodies (the Ob' River, Rybinsk Reservoir, Russia) and unpolluted Lake Tana (Africa) has been made. An examination of the haptors of *Paradiplozoon megan* (Bychowsky et Nagibina, 1959) from ide and *Diplozoon paradoxum* von Nordmann, 1832 from bream caught in the Ob' River and Rybinsk reservoir has revealed a large number of abnormalities of the attachment clamps. Various abnormalities of the attachment clamps were also found in *Paradiplozoon* spp. from the barbel from the Lake Tana, which does not experience industrial pollution. According to the literature data, abnormalities in the structure of the attachment haptor in diplozoids were also found in relatively clean water bodies. Only in unpolluted water bodies such type of abnormalities as the formation of rudiments of the fifth and sixth clamps was recorded. It is hypothesized that pollution of water is not the main reason for the formation of anomalies in the structure of clamps, there is a native ("genetic background") frequency of occurrence of abnormalities in Diplozoidae.

Key words: parasites, fishes, monogeneans, Diplozoidae, teratogenic disorders, pollution.