

УДК 597–169. 574.34 (639.2.09)

**ПАЗИТО-ХОЗЯИНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ  
ПЛЕРОЦЕРКОИДЫ *LIGULA INTESTINALIS* (L.)  
(CESTODA: PSEUDOPHYLLIDEA) – КАРПОВЫЕ РЫБЫ  
И ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ РТУТИ  
В МУСКУЛАТУРЕ ЗАРАЖЕННЫХ ХОЗЯЕВ**

© 2019 г. А. В. Тютин<sup>а,\*</sup>, Е. Н. Медянцева<sup>а</sup>, В. А. Гремячих<sup>а,\*\*</sup>,  
В. Т. Комов<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ),

пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, 152742 Россия

\* e-mail: atyutin2@gmail.com, helio@ibiw.yaroslavl.ru

\*\* e-mail: grva@ibiw.yaroslavl.ru

\*\*\* e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru

Поступила в редакцию 02.03.2019 г.

После доработки 20.05.2019 г.

Принята к публикации 02.06.2019 г.

Работа является частью исследования по изучению аккумуляции ртути в гельминтах и рыбах, выполнявшегося в 2006–2017 гг. В разных размерно-возрастных группах карповых рыб (лещ *Abramis brama* L., 1758 и чехони *Pelecus cultratus* L., 1758) были отмечены значительные различия по встречаемости плероцеркоидов *Ligula intestinalis* L., 1758. Сравнительный анализ зараженных и незараженных экземпляров рыб показал вариабельность концентраций ртути как в плероцеркоидах *L. intestinalis*, так и в мышцах промежуточных хозяев. Было выявлено сходство в процессах аккумуляции металла у зараженных плероцеркоидами особей *A. brama* и *P. cultratus*, отловленных в разных участках Рыбинского водохранилища (бассейн Верхней Волги). Среднее значение содержания ртути в тканях *L. intestinalis* составило  $0.013 \pm 0.005$  мг Hg/кг сырой массы (с разбросом значений 0.001–0.043 мг/кг, коэффициент вариации  $C_v = 109.8\%$ ). В мышцах незараженных особей леща содержание металла было ниже, по сравнению с мышцами зараженных экземпляров:  $0.073 \pm 0.006$  мг/кг ( $C_v = 39.0\%$ ) и  $0.094 \pm 0.013$  мг/кг ( $C_v = 40.5\%$ ), соответственно. Для показателей у пары *L. intestinalis*–чехонь, напротив, среднее значение показателя было выше у незараженных рыб ( $0.133 \pm 0.008$  мг Hg/кг,  $C_v = 36.4\%$ ), чем у зараженных *L. intestinalis* особей ( $0.092 \pm 0.006$  мг Hg/кг сырой массы,  $C_v = 16.4\%$ ).

**Ключевые слова:** цестода, *Ligula intestinalis*, лещ *Abramis brama*, чехонь *Pelecus cultratus*, ртуть, биоаккумуляция.

DOI: 10.1134/S0031184719030062

В последние годы особый интерес вызывают публикации, связанные со способностью патогенных для хозяина гельминтов, к которым относятся цестоды семейства Ligulidae, разнонаправлено влиять на процесс накопления тяжелых металлов в тканях

разных видов рыб–хозяев (Barus et al., 2012; Доровских, Мазур, 2013; Frank et al., 2013; Palikova et al., 2014; Sures et al., 2017).

Изучение отношений в паразитарных системах «пресноводные рыбы–плероцеркоиды цестод семейства Ligulidae» на популяционном и организменном уровнях часто привлекало внимание исследователей, и многие аспекты проблемы отражены в литературе достаточно подробно (Отг, 1967; Arme, Owen, 1968; Dubinina, 1980; Извекова, Кузьмина, 1996; Куперман и др., 1997; Morley, Lewis, 2019).

Большинство эколого-паразитологических работ, связанных с изучением представителей семейства Ligulidae, посвящено паразитарным системам, формируемым цестодой *L. intestinalis*. На фоне общего глобального потепления в начале XXI века этот паразит все чаще вызывает эпизоотии в популяциях рыб из водоемов Европы, Азии и Африки (Loot et al., 2001; Brown et al., 2002; Britton et al., 2009; Vanacker et al., 2012; Sohn et al., 2016; Чугунова, 2017). К числу негативных последствий для хозяев нередко относят изменения в их поведении (Dubinina, 1980; Frank et al., 2013; Palikova et al., 2014).

В бассейне р. Волги вид *L. intestinalis* наиболее распространенный представитель семейства, имеющий большой круг промежуточных хозяев. В обзоре Е.А. Богдановой и Н.П. Никольской (1965), суммирующем результаты паразитологических исследований рыб за 1868–1955 гг., отмечено, что в р. Волге, до окончательного зарегулирования ее стока, плероцеркоиды *L. intestinalis* встречались у леща *A. brama*, плотвы *Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758, ельца *Leuciscus leuciscus* Linnaeus, 1758, пескаря *Gobio gobio* Linnaeus, 1758, уклей *Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758, густеры *Blicca bjoerkna* Linnaeus, 1758. Высокая встречаемость плероцеркоидов *L. intestinalis* была характерна для волжских водохранилищ с небольшой скоростью водообмена в первые годы после их создания. Например, в Рыбинском водохранилище в 1942–1963 гг. регулярно отмечали зараженность леща (до 20.0–40.0 %), плотвы (до 60.0 %) и густеры (до 13.0 %) (Изюмова, 1977).

Несмотря на это, некоторые аспекты отношений паразит-хозяин для *L. intestinalis* остаются слабоизученными. Чехонь *P. cultratus*, широко распространена в водоемах, относящихся к бассейнам Черного, Каспийского и Балтийского морей и давно включена в число вторых промежуточных хозяев *L. intestinalis*, наряду с большинством других обычных для европейских водоемов карповых рыб (Dubinina, 1980). Однако данных об особенностях отношений в этой паре «паразит–хозяин» мало, что, возможно, связано с невысокой, по сравнению с другими видами рыб, зараженностью чехони плероцеркоидами в большинстве ее европейских популяций.

В монографии Изюмовой (1977) при подробном описании особенностей лигулидозов для волжской чехони после превращения Волги в каскад водохранилищ зарегистрированы только две серьезные вспышки встречаемости плероцеркоидов *L. intestinalis*. Эти случаи отмечены в первые годы после создания Горьковского водохранилища: в 1956 г. (до 9.1 %) и в 1963 г. (до 80.0 %). В более поздние годы основные исследования проводились на леще из Рыбинского водохранилища (Куперман и др., 1997). Однако даже при проведении паразитологических исследований карповых рыб в 1995–2004 гг. случаев массового заражения чехони в этом водоеме не было зафиксировано, хотя плероцеркоиды *L. intestinalis* регулярно присутствовали у взрослых особей леща, плотвы, густеры и уклей (Тютин, 2002; Тютин, Кияшко, 2005; Тютин и др., 2006). Толь-

ко в 2005 г. в водоеме была отмечена первое серьезное повышение зараженности чехони (до 13.3 % в среднем по водоему) с максимальными значениями встречаемости плероцеркоидов у рыб из северной части водохранилища (Тютин и др., 2006). Северная часть водосбора Рыбинского водохранилища находится в зоне действия Череповецкого металлургического комбината (Komov et al., 2016; 2017). Можно предположить, что токсическое отравление чехони тяжелыми металлами и другими загрязнителями, послужило возможной причиной ослабления рыб и привело к их повышенной зараженности в северном участке водоема.

Цель данного исследования – изучение влияния патогенных гельминтов (плероцеркоидов *L. intestinalis*) на аккумуляцию ртути в мышцах рыб-хозяев, различающихся по типу питания (леще *A. brama* и чехони *P. cultratus*).

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использована часть материалов, собранных в 2006–2017 гг. в регулярных рейсах экспедиционных судов ИБВВ РАН по всей акватории Рыбинского водохранилища. Отлов рыб проводили в период с мая по октябрь с использованием пелагических и донных тралов по стандартной сетке точек (максимально из 22 станций). Учитывали особенности экосистемы водоема и наличие в нем локальных стад рыб (Рыбы Рыбинского..., 2015). Основное внимание было уделено изучению закономерностей в системе *L. intestinalis* – *P. cultratus*, так как особенности отношений между плероцеркоидами лигулид и *A. brama* в условиях Рыбинского водохранилища достаточно подробно рассматривались ранее (Куперман и др., 1997; Тютин, 2002, 2003; Тютин, Кияшко, 2005; Тютин и др. 2006; Tyutin et al., 2013). Часть центрального участка этого водоема активно используется мигрирующей молодью рыб, что ограничило возможность использования результатов некоторых уловов в работе (примерно от 58°35' с.ш., 38°30' в.д. до 58°30' с.ш., 37°90' в.д.). Для анализа преимущественно использовали данные по рыбам, которые можно было сгруппировать по двум-трем точкам в относительно удаленных зонах водохранилища. Для «северного» участка примерными границами в нашем случае считали координаты от 58°50' с.ш., 38°20' в.д. до 58°45' с.ш., 38°25' в.д. и рассматривали его в качестве антропогенно загрязненной зоны. Южную часть водохранилища от 58°00' с.ш. и 38°25' в.д. до 58°15' с.ш. и 38°28' в.д. – как «условно чистый» участок.

Отбор и хранение проб для определения содержания ртути в тканях проводили по описанной ранее методике (Комов и др., 2004; Komov et al., 2016; 2017; Удоденко и др., 2019). Из траловых уловов для исследования содержания ртути выбирали лещей из средней размерно-возрастной группы (преимущественно 250–300 мм). В анализируемые выборки чехони не включали сеголеток с длиной тела менее 90 мм и массой около 2 г, как и двухлеток, преобладающих в уловах из центральной (нагульной) части водоема. Для определения содержания ртути были использованы взрослые особи чехони из северного (с длиной тела 160–213 мм) и южного (165–210 мм) участков водоема. При среднем размере рыб  $191.7 \pm 4.0$  мм и  $184.7 \pm 2.1$  мм средняя масса тела у них составляла  $48.6 \pm 3.5$  г. и  $44.3 \pm 1.7$  г, соответственно. В число исследованных проб были включены плероцеркоиды *L. intestinalis* (8 экз.). Точность аналитических методов измерения контролировали с использованием сертифицированного биологического материала DORM-2 и DOLM-2 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада). Во всех случаях содержание ртути в образцах определяли в 2–3 повторностях атомно-абсорбционным методом холодного пара на ртутном анализаторе РА-915+ с приставкой ПИРО (Люмэкс) без предварительной подготовки проб. Относительная погрешность измерений содержания ртути в образцах на используемом нами приборе составляет от  $\pm 28$  % для мышечной ткани рыб до  $\pm 40$  %, для плероцеркоидов (при  $n = 2$ ).

Математическую обработку данных по зараженности рыб проводили с использованием обычных методов (Sokal, Rohlf, 1995; Bush et al., 1997). В качестве основного показателя использовали встречаемость плероцеркоидов в выборках рыб (доля зараженных особей с расчетом стандартной статистической ошибки). Принимая во внимание относительно небольшие объемы выборок рыб, попарное сравнение достоверности различий в уровнях зараженности в выборках проводили по критерию  $\chi^2$  Пирсона (хи-квадрат) на уровне значимости  $p < 0.05$  и  $p < 0.10$ .

Результаты анализа содержания ртути в мышечной ткани рыб в таблицах представляли в виде средних значений и их ошибок ( $\bar{x} \pm SE$ ), данные обрабатывали статистически, используя метод однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и процедуру LSD-теста при уровне значимости  $p = 0.05$ . Для сравнительной оценки этого показателя дополнительно применяли коэффициент вариации ( $C_v$ , %), отражающий соотношение среднего и дисперсии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В Рыбинском водохранилище среднее содержание ртути в тканях *L. intestinalis* оказалось небольшим ( $0.013 \pm 0.005$  мг Hg/кг сырой массы) и в исследованной разновозрастной выборке плероцеркоидов варьировало в диапазоне от 0.001 мг/кг до 0.043 мг/кг (с коэффициентом вариации  $C_v = 109.8$  %). Концентрации металла в мышцах зараженных плероцеркоидами особей леща и чехони совпадали (табл. 1). Для обоих видов рыб в группах зараженных особей значения показателя были несколько выше у экземпляров из северного участка водохранилища. В контрольных группах незараженных плероцеркоидами рыб отмечены межвидовые различия в процессах аккумуляции ртути. Ее содержание в мышцах незараженных особей леща из обоих сравниваемых участков водохранилища (0.067 и 0.077) оказалось примерно в два раза ниже, чем у аналогичных групп чехони (0.12 и 0.14 мг/кг сырой массы).

Из-за низкой концентрации ртути в мышцах исследованных особей леща влияние плероцеркоидов статистически слабо прослеживалось даже в усредненной по водоему выборке ( $p > 0.5$ ). Однако содержание ртути в мышцах незараженных лещей (0.067–0.077 мг/кг) для обоих участков водоема было ниже по сравнению с зараженными плероцеркоидами особями (0.084–0.097 мг/кг сырой массы).

Для обоих участков водоема коэффициенты вариации содержания ртути у незараженных лещей почти не отличались от показателей у зараженных особей:  $C_v = 38.5 - 39.5$  % и  $C_v = 42.44 - 43.2$  %, соответственно. Наиболее заметны различия по исследованному показателю у леща из северной группировки, но и в этом случае они варьируют незначительно, что указывает на относительно благополучное состояние популяции хозяина и сбалансированность отношений в паре паразит-хозяин.

При исследовании выборок чехони из двух участков водоема в обоих случаях были выявлены более высокие значения содержания ртути в мышцах незараженных особей (0.120–0.140 мг/кг, при  $C_v = 34.8-39.5$  %). У зараженных плероцеркоидами экземпляров чехони в выборках из обоих участков водоема содержание ртути ниже (0.086–0.108 мг/кг) и отличается минимальными значениями коэффициента вариации ( $C_v = 5.9-14.9$  %). В среднем по водоему различия статистически достоверны ( $p < 0.05$ ). При сравнении содержания ртути в мышцах взрослых особей чехони из северного и южного участков Рыбинского водохранилища статистически значимых различий не выявлено, что, возможно, отражает относительно благополучную экологическую ситуацию в водоеме.

Выявленные межвидовые различия отчасти могут быть связаны с тем, что встречаемость плероцеркоидов в рассматриваемой размерно-возрастной группе леща слабо варьирует по годам и в среднем невелика ( $4.0 \pm 2.3$  %,  $n = 75$ ), тогда как пара *L. intestinalis* – чехонь выглядит менее сбалансированной (табл. 2). В первые три года наблюдений в выборках чехони было заражено около трети особей. В последующие три года средняя встречаемость плероцеркоидов была примерно в два раза ниже, что может быть следствием высокой патогенности паразита

**Таблица 1.** Среднее содержание ртути (мг Hg/кг сырой ткани) в мускулатуре незараженных и зараженных плероцеркоидами *Ligula intestinalis* экземпляров леща *Abramis brama* и чехони *Pelecus cultratus* из Рыбинского водохранилища (2009–2017 г.)

Участок водоема	Число рыб в выборке, $n_1$ ( $n_2$ )	Вариабельность содержания ртути (Cv, %).	Среднее содержание ртути (Hg, мг/кг сырой массы)	
			В группе незараженных рыб	В группе зараженных рыб
<i>Лещ Abramis brama</i>				
Северный	15 (6)	38.5 / 42.4	0.067 ± 0.009	0.097 ± 0.017
Южный	16 (2)	39.5 / 43.2	0.077 ± 0.008	0.084 ± 0.026
По водоему	31 (8)	39.0 / 40.4	0.073 ± 0.006	0.094 ± 0.013
<i>Чехонь Pelecus cultratus</i>				
Северный	14 (5)	39.5 / 5.9	0.120 ± 0.014	0.108 ± 0.005
Южный	28 (2)	34.8 / 14.9	0.140 ± 0.010	0.086 ± 0.006
По водоему	42 (7)	36.4 / 16.4	0.133 ± 0.008	0.092 ± 0.006

Примечания:  $n_1$  – число исследованных рыб, экз.;  $n_2$  – число зараженных рыб (в скобках), экз. Данные по содержанию ртути представлены в виде средних значений и их ошибок ( $m \pm SE$ ). Вариабельность содержания ртути (Cv, %) приведена для групп незараженных / зараженных особей. Включены данные по чехони с длиной тела ( $L_1$ ) не менее 160 мм (со смешанным типом питания) и данные по лещу с длиной тела ( $L_2$ ) около 250–300 мм.

**Таблица 2.** Различия по встречаемости плероцеркоидов *L. intestinalis* в размерно-возрастных группах чехони *Pelecus cultratus*

Группы рыб	n, экз.	$L_2$ (min–max, мм)	$E \pm SE$ , %	Достоверность различий
Суммарно	146	90–400	24.0 ± 3.5	–
Возрастные различия				
Молодые особи	77	90–50	29.9 ± 5.2	$\chi^2 = 3.109$ , $p < 0.078^*$
Взрослые особи	69	151–400	17.4 ± 4.6	
Межгодовые различия				
2006 – 2008 гг.	85	100–400	29.4 ± 4.9	$\chi^2 = 3.302$ , $p < 0.069^*$
2009 – 2011 гг.	61	90–350	16.4 ± 4.7	
По участкам водоема				
Северный	49	100–400	22.4 ± 5.9	$\chi^2 = 3.122$ , $p > 0.209$
Центральный	44	90–300	34.1 ± 7.2	
Южный	48	110–350	18.8 ± 5.6	

Примечание: n – число исследованных рыб, экз.;  $L_2$  (min–max, мм) – разбросы значений длины тела в размерной группе рыб.  $E \pm s$ , % – значения встречаемости плероцеркоидов *L. intestinalis* приведены с указанием стандартной ошибки.

\* Различия по критерию Пирсона  $\chi^2$  статистически достоверны на уровне значимости  $p < 0.10$ . Прочерк – не сравнивали.

для чехони и селективной смертностью зараженных особей. В пользу этого свидетельствуют и данные по встречаемости плероцеркоидов *L. intestinalis* в двух размерно-возрастных группах *P. cultratus*. В рассматриваемый период этот показатель у молодых рыб примерно в два раза превысил значение для взрослых особей чехони. Из-за небольшого объема выборок рыб это различие по критерию  $\chi^2$  статистически достоверно только на уровне значимости  $p < 0.10$ . Сравнение встречаемости плероцеркоидов в трех выборках рыб из разных участков водохранилища (северного, центрального и южного) по критерию Пирсона, показало, что их можно отнести к одной генеральной совокупности ( $\chi^2 = 3.122$ ,  $p > 0.209$ ). Возможно, это является прямым следствием высокой миграционной активности ведущей пелагических образ жизни чехони. В уловах из центральной (озеровидной) части водохранилища преобладали молодые особи чехони, и, как следствие, встречаемость плероцеркоидов в этом участке водоема была заметно выше, по сравнению с группами рыб из северного и южного участков (речные плесы).

Сравнение зараженности рыб из северного и центрального участков водохранилища статистически значимых различий не выявило ( $\chi^2 = 1.561$ ,  $df = 1$ ,  $p > 0.211$ ). Встречаемость плероцеркоидов у рыб из южного участка водоема отличалась от показателя для центральной части водохранилища более заметно ( $\chi^2 = 2.802$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.094$ ). Интенсивность заражения у молодых рыб варьировала от 1 до 6 экз. плероцеркоидов с явным доминированием рыб, зараженных сразу несколькими некрупными экземплярами гельминта. У взрослых особей чехони агрегированность распределения паразитов выражена слабее: интенсивность заражения была ниже – от 1 до 3 экз., но плероцеркоиды были более крупными.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Современные данные литературы по накоплению металлов в мышцах рыб из естественных водоемов достаточно противоречивы. Очевидно, что различные металлы накапливаются в тканях организма в разной степени, а влияние на этот процесс определенного вида паразитов часто зависит от рассматриваемого хозяина и особенностей функционирования его конкретной популяции (Barus et al., 2012; Subbotic et al., 2015; Sures et al., 2017). Нередко авторы отмечают повышенное аккумуляирование металлов в тканях гельминтов на фоне относительно низкого содержания в тканях зараженных особей хозяина (по сравнению с незараженными). Возможный физиологический механизм влияния гельминтов на накопление хозяином тяжелых металлов также пока не ясен. В частности, нет однозначных результатов по изучению влияния зараженности *L. intestinalis* на металлотионеины, ответственные за вывод металлов из организма рыб-хозяев (Frank et al., 2013).

На аккумуляцию ртути в тканях рыб и их паразитов, влияют выбор хозяином местообитания и особенности его питания. Хорошо известно, что при заражении *L. intestinalis* большинство видов карповых рыб обычно поднимаются к поверхности воды или переходят в более мелководные участки водоемов, что облегчает их элиминирование хищниками (Dubinina, 1980; Loot et al., 2001; Britton et al., 2009). Такое манипулирование поведением хозяина может продлевать период планктофагии, являясь одновременно и причиной, и следствием агрегации плероцеркоидов в одной рыбе (Brownet al., 2002).

Непосредственное сравнение полученных нами данных по накоплению тяжёлых металлов гидробионтами с результатами других исследователей затруднено из-за различий в методических подходах и особенностях конкретных водоемов. Современный уровень содержания ртути в грунтах водохранилища даже в зоне влияния Череповецкого металлургического комбината оценивается как относительно невысокий для крупного промышленного района (Komov et al., 2016, 2017). Тем не менее, наши дан-

ные не противоречат результатам исследования леща *A. brama* в бассейне реки Дунай, согласно которым среднее содержание ртути в плероцеркоидах *L. intestinalis* примерно в 7 раз меньше, чем в тканях хозяина (Palikova et al., 2014). Однако в этом случае авторы анализировали зараженных плероцеркоидами особей, уже мигрировавших в литоральную зону водоема, выявив у них повышенное содержание ртути в мускулатуре ( $0.36 \pm 0.11$  мг/кг) по сравнению с отловленными в других биотопах незараженными экземплярами ( $0.24 \pm 0.10$  мг/кг сырой массы).

Сложнее интерпретировать данные по чехони, способной переходить с возрастом в некоторых водоемах не только к бентофагии, но и к ихтиофагии. Из литературы известно, что у чехони из бассейна р. Дунай, относимой к числу облигатных планктофагов, содержание ртути в тканях относительно мало по сравнению, например, с показателями типичного европейского бентофага – ерша *Gymnocephalus cernuus* Linnaeus, 1758 (Subotic et al., 2015). При этом, в отличие от ерша, у дунайской чехони содержание ртути примерно в полтора раза выше в мускулатуре ( $2.08 \pm 1.19$  мг/кг), чем в печени ( $1.37 \pm 0.70$  мг/кг сухой массы). Чехонь в Рыбинском водохранилище ведет активный пелагический образ жизни, до размера 150 мм питается почти исключительно зоопланктоном и личинками сем. Chironomidae, и только в половозрелом состоянии начинает пополнять рацион насекомыми и молодью рыб (Рыбы Рыбинского ..., 2015). С начала века в этом водоеме наблюдается устойчивый рост численности популяции чехони, что связывают с улучшением условий нереста и формированием ряда урожайных поколений.

В результате проведенных нами исследований установлено, что содержание ртути в мышцах зараженных особей чехони значительно ниже, чем у контрольных экземпляров, что может быть связано с задержкой пребывания рыб в центральной части водоема, используемой молодью для нагула. Следует отметить явную несбалансированность отношений паразит-хозяин в данном случае, что находит отражение в заметных возрастных и межгодовых колебаниях уровня зараженности чехони в Рыбинском водохранилище. В качестве одной из причин нарушения нормального функционирования паразитарных систем в этом водохранилище ранее рассматривали натурализацию черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* Nordmann, 1840, численность которой в пелагиали водоема достигала в отдельные годы высоких значений (Тютин, 2003; Тютин, Кияшко, 2005; Tyutin et al., 2013). В случае перехода ихтиофагов на питание черноморско-каспийской тюлькой хищные рыбы могут в меньшей степени элиминировать зараженную чехонь, а места кормлений рыбоядных птиц (дефинитивные хозяева *L. intestinalis*) перемещаются из прибрежной к центральной части водоема.

В Рыбинском водохранилище зараженность чехони плероцеркоидами *L. intestinalis* достаточно долго сохраняется на высоком уровне, что влияет на процесс циркуляции ртути в экосистеме водоема. В других водохранилищах верхней и средней Волги роста зараженности чехони плероцеркоидами *L. intestinalis* не отмечено (Тютин и др., 2006). У леща в водохранилищах верхней и средней Волги возрастные различия в зараженности плероцеркоидов *L. intestinalis* и *Digamma interrupta* (Rudolphi, 1810) отсутствуют, а межгодовые колебания показателя встречаемости плероцеркоидов выражены слабее (Тютин, 2002).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы подтверждают способность патогенных для рыб плероцеркоидов цестод сем. *Ligulidae* оказывать существенное влияние на хозяина. У зараженных плероцеркоидами *L. intestinalis* взрослых особей чехони *P. cultratus* и леща *A. brama* концентрации ртути в мышцах имели близкие значения. У незараженных рыб двух видов отмечены существенные различия по этому показателю. По нашему мнению, выявленная в данном случае закономерность связана с выбором зараженными особями карповых рыб близких по типу мест обитания.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания РФ (темы ААА-А-А18-118012690100-5, АААА-А18-118012690123-4, АААА-А18-118012690106-7, АААА-А18-118012690105-0). Авторы благодарят администрацию ИБВВ РАН, к.б.н. Кияшко В.И., к.б.н. Удоденко Ю.Г., д.б.н. Герасимова Ю.В., д.б.н. Чуйко Г.М. за содействие при выполнении работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богданова Е.А., Никольская Н.П. 1965. Паразитофауна рыб Волги до зарегулирования стока. Известия ГосНИОРХ **60**: 5–110.
- Доровских Г.Н., Мазур В.В. 2013. Жизненная стратегия паразитов рыб и аккумулярование ими металлов. Вода: химия и экология **4** (58): 57–63.
- Извекова Г.И., Кузьмина В.В. 1996. Влияние заражения плероцеркоидами *Ligula intestinalis* на активность пищеварительных ферментов и содержание гликогена в тканях леща. Паразитология **30** (1): 45–51.
- Изымова Н.А. 1977. Паразитофауна рыб водохранилищ СССР и пути ее формирования. Л., Наука, 284 с.
- Комов В.Т., Степанова И.К., Гремячих В.А. 2004. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей. В кн.: Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок: ИБВВ РАН, с. 99–123.
- Куперман Б.И., Жохов А.Е., Извекова Г.И., Таликина М.Г. 1997. Динамика зараженности лигулидами лещей Волжских водохранилищ и паразитохозяйные отношения при лигулезе. Биология внутренних вод **2**: 41–49.
- Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология. 2015. /ред. Ю.В. Герасимов; РАН, Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина. Ярославль, Филигрань, 418 с.
- Удоденко Ю.Г., Тютин А.В., Морозова Д.А., Гремячих В.А., Суконина А.И., Комов В.Т., Медянцева Е.Н. Ртуть и некоторые паразиты карповых рыб. Экологический сборник 7. Труды молодых ученых. Всероссийская (с международным участием) молодежная конференция. С. 469–473. DOI: 10.24411/9999-010А-2019-101118
- Тютин А.В. 2002. Динамика встречаемости цестод семейства *Ligulidae* у леща в водохранилищах Верхней и Средней Волги. Проблемы цестодологии **2**: 232–242.
- Тютин А.В. 2003. Сравнительный анализ паразитофауны двух пелагических рыб–вселенцев в Рыбинском водохранилище. Биология внутренних вод **2**: 86–91.
- Тютин А.В., Кияшко В.И. 2005. Встречаемость цестод семейства *Ligulidae* у карповых рыб верхневолжских водохранилищ после вселения черноморско-каспийской тюльки. Проблемы цестодологии **3**: 267–276.
- Тютин А.В., Кияшко В.И., Слынько Ю.В. 2006. Динамика роста зараженности карповых рыб волжских водохранилищ плероцеркоидами цестод семейства *Ligulidae*. В кн.: Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем. Материалы международной конференции. Ростов-на-Дону, с. 430–433.
- Чугунова Ю.К. 2017. Нетипичная локализация плероцеркоидов *Ligula intestinalis* в плотве Курейского водохранилища. Паразитология **51** (5): 445–446.
- Arne C., Owen R.W. 1968. Occurrence and pathology of *Ligula intestinalis* infections in British fishes. Journ. of Parasitol **54** (2): 272–280.
- Barus V., Simkova A., Prokes M., Penaz M., Vetesnik L. 2012. Heavy metals in two host-parasite systems: tapeworm vs. fish. Acta Veterinaria Brno **81** (3): 313–317. DOI: 10.2754/avb201281030313
- Bush A.O., Lafferty K.D., Lotz J.M., Shostak A.W. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revised. Journal of Parasitology **83**: 575–583.



- Britton J.R., Jackson M.C., Harper D.M. 2009. *Ligula intestinalis* (Cestoda: Diphyllbothriidae) in Kenya: a field investigation into host specificity and behavioural alterations. *Parasitology* **136** (11): 1367–1373. DOI: 10.1017/S003118200999059X
- Brown S.P., Teriokhin A.T., Guegan J.F., Loot G., Brunel A., Brunel C. 2002. Host manipulation by *Ligula intestinalis*: a cause or consequence of parasite aggregation? *International Journal for Parasitology* **32** (7): 817–824.
- Dubinina M.N. Tapeworms (Cestoda, Ligulidae) of the Fauna of the U.S.S.R. 1980. Amerind Publishing Co., New Delhi.
- Frank S.N., Godehardt S., Nachev M., Trubiroha A., Kloas W., Sures B. 2013. Influence of the cestode *Ligula intestinalis* and the acanthocephalan *Polymorphus minutus* on levels of heat shock proteins (HSP70) and metallothioneins in their fish and crustacean intermediate hosts. *Environmental Pollution* **180**: 173–179. DOI:10.1016/j.envpol.2013.05.014
- Komov V.T., Ivanova E.S., Gremyachikh V.A., Poddubnaya N.Y. 2016. Mercury Content in Organs and Tissues of Indigenous (*Vulpes vulpes* L.) and Invasive (*Nyctereutes procyonoides* Gray.) Species of Canids from Areas Near Cherepovets (North-Western Industrial Region, Russia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **97** (4): 480–485. DOI: 10.1007/s00128-016-1891-7
- Komov V.T., Ivanova E.S., Poddubnaya N.Y., Gremyachikh V.A. 2017. Mercury in soil, earthworms and organs of voles *Myodes glareolus* and shrew *Sorex araneus* in the vicinity of an industrial complex in Northwest Russia (Cherepovets). *Environmental Monitoring and Assessment* **189** (3): 480–485 DOI: 10.1007/s10661-017-5799-4
- Loot G., Brosse S., Lek S., Guegan J.F. 2001. Behaviour of roach (*Rutilus rutilus* L.) altered by *Ligula intestinalis* (Cestoda : Pseudophyllidea): a field demonstration. *Freshwater Biology* **46** (9): 1219–1227. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2001.00733.x
- Morley N.J., Lewis J.W. 2019. Influence of *Ligula intestinalis* plerocercoids (Cestoda: Diphyllbothriidae) on the occurrence of eyeflukes in roach (*Rutilus rutilus*) from a lake in south-east England. *Journal of Helminthology* **93** (1): 66–70. DOI:10.1017/S0022149X17001213.
- Orr T.S.C. 1967. Distribution of the plerocercoid of *Ligula intestinalis*. *Journ. Zool. London* **153**: 91–97.
- Palikova M., Navratil S., Dvorakova A., Bedanova I., Mares J., Celechovska O. 2014. Mercury content in the parasite-host system of *Ligula intestinalis* and *Abramis brama* and the effect of the parasite on fish muscle composition. *Acta Veterinaria Brno* **83** (2): 89–93. DOI:10.2754/avb201483020089
- Sohn W.M., Na B.K., Jung S.G., Kim K.H. 2016. Mass death of predatory carp, *Chanodichthys erythropterus*, induced by Plerocercoid Larvae of *Ligula intestinalis* (Cestoda: Diphyllbothriidae). *Korean Journal of Parasitology* **54** (3): 363–368.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. 1995. *Biometry. The principals and practice of statistics in biological research.* N.Y.: W.H. Freeman and Co, 887 pp.
- Subotic S., Visnjic-Jefic Z., Spasic S., Hegedis A., Krpo-Cetkovic J., Lenhardt M. 2015. Concentrations of 18 Elements in Muscle, Liver, Gills, and Gonads of Sichel (*Pelecus cultratus*), Ruffe (*Gymnocephalus cernua*), and European Perch (*Perca fluviatilis*) in the Danube River near Belgrade (Serbia). *Water Air and Soil Pollution* **226** (9): 1–11. DOI:10.1007/s11270-015-2544-x
- Sures B., Nachev M., Selbach C., Marcogliese D.J. 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in «Environmental Parasitology». *Parasites and Vectors* **10** (65): 1–19. DOI:10.1186/s13071-017-2001-3
- Tyutin A.V., Verbitsky V.B., Verbitskaya T.I., Medyantseva E.N. 2013. Parasites of alien aquatic animals in the Upper Volga basin. *Russian Journal of Biological Invasions* **4**(1): 54–59. DOI: 10.1134/S2075111713010098
- Vanacker M., Masson G., Beisel J-N. 2012. Host switch and infestation by *Ligula intestinalis* L. in a silver bream (*Blicca bjoerkna* L.) population. *Parasitology* **139** (3): 406–417.

## HOST – PARASITE RELATIONSHIPS IN THE PLEROCERCOIDS OF *LIGULA INTESTINALIS* (L.) (CESTODA: PSEUDOPHYLLIDEA) – CARP FISH SYSTEM AND THE MERCURY ACCUMULATION IN THE MUSCLES OF HOSTS

A. V. Tyutin, E. N. Medyantseva, V. A. Gremyachikh, V. T. Komov

**Key words:** Cestoda, *Ligula intestinalis*, bream *Abramis brama*, sichel *Pelecus cultratus*, mercury, bioaccumulation.

## SUMMARY

This work is the part of studies of the mercury bioaccumulation in helminths and fish conducted in 2006–2017. The high differences in the prevalence of plerocercoids of *Ligula intestinalis* in the different body length groups of cyprinids fish (bream *Abramis brama* and sibel *Pelecus cultratus*) were registered. The comparative analysis of the infected and non-infected fish resulted in the varied concentration of Hg both in plerocercoids of *Ligula intestinalis* and in muscles of intermediate hosts specimens – fish. On the other hand, there are the similarities of the mercury accumulation process between parasitised specimens of *Abramis brama* and *Pelecus cultratus*, caught at the different parts of the Rybinsk Reservoir (the Volga river basin). Mean value of mercury concentration in the plerocercoids *Ligula intestinalis* was  $0.013 \pm 0.005$  mg Hg/kg fresh wet weight (0.001–0.043, with variation coefficient values  $C_v = 109.8$  %). The levels of mercury was lower in muscles of non-infected breams in comparison with infected specimens:  $0.073 \pm 0.006$  mg /kg ( $C_v = 39.0$  %) and  $0.094 \pm 0.013$  mg/kg ( $C_v = 40.5$  %), respectively. On the contrary, in the sibel (*Pelecus cultratus*) – *L. intestinalis* cases mean concentrations of Hg were higher in muscles of non-infected fish ( $0.133 \pm 0.008$  mg Hg/kg,  $C_v = 36.4$  %) than in infected by *L. intestinalis* specimens ( $0.092 \pm 0.006$  mg Hg/kg fresh wet weight,  $C_v = 16.4$  %).