

ЖИЗНЕННАЯ стратегия ПАРАЗИТОВ **РЫБ** и АККУМУЛИРОВАНИЕ

ИМИ **МЕТАЛЛОВ**

На способность аккумулировать металлы исследованы половозрелые цестоды *Proteocephalus thymalli* (Annenkova-Chlopina, 1923) из кишечника хариуса *Thymallus thymallus* (L.), плероцеркоиды ленточных червей *Schistocephalus sp.* из полости тела голяна *Phoxinus phoxinus* (L.) и метацеркарии трематод *Diplostomum phoxini* Faust, 1918 из его головного мозга. Отмечена связь между жизненной стратегией паразита и его способностью накапливать металлы.



Введение

Способность рыб и их паразитов аккумулировать металлы хорошо известна [1-3]. Работы выполнены на нескольких видах рыб, половозрелых и личиночных стадиях гельминтов, и др. группах инвадентов [4, 5]. На том основании, что некоторые паразиты аккумулируют тяжелые металлы в концентрациях, превышающих их содержание в тканях рыб и окружающей среде, их предложено использовать как биоиндикаторы загрязнения водоемов тяжелыми металлами [6-8]. Однако до настоящего времени не проанализированы аккумулятивные возможности паразитов в отношении металлов с позиций их жизненной стратегии.

Для исследования взяты виды паразитов с разной жизненной стратегией. Одним из

Г.Н Доровских*,

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биологии, ФГБОУ ВПО Сыктывкарский государственный университет

В.В. Мазур,

аспирант, ФГБОУ ВПО Сыктывкарский государственный университет

них «невыгодна» преждевременная гибель хозяина, поскольку их существование, как любого организма, без среды невозможно, другим гибель хозяина необходима для продолжения своего цикла развития [9].

Цель работы — проверить наличие корреляции между жизненной стратегией паразитов и их возможностями накапливать металлы.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – голян *Phoxinus phoxinus* (L.) (тушка, мышцы), хариус *Thymallus thymallus* (L.) (мышцы, печень), половозрелые цестоды *Proteocephalus thymalli* (Annenkova-Chlopina, 1923) из кишечника хариуса, плероцеркоиды ленточных червей *Schistocephalus sp.* из полости тела голяна и метацеркарии трематод *Diplostomum phoxini* Faust, 1918 из головного мозга голяна.

*Адрес для корреспонденции: dorovskg@mail.ru

Материал собран в конце июня – первой декаде июля 2009–2010 гг. из р. Б. Шайтановки (правый приток верхнего течения р. Печоры), протекающей по территории Печоро-Илычского государственного природного заповедника, в 0,2 (гольян и *Schistocephalus sp.*) и 5,0 км (хариус и *P. thymalli*) вверх от ее впадения в р. Печору и в июне – июле 2009–2011 гг. (гольян и *D. phoxini*) из р. Човью (приток р. Вычегды) из участка, лежащего в черте г. Сыктывкара (микрорайон В. Чов).

Учитывая, что содержание металлов в различных органах рыб и беспозвоночных животных зависит от сезона, возраста, пола, размеров, типа питания, физиологического состояния, температуры и рН воды [10], материал каждый год собирали в течение недели из одних и тех же точек при температуре воды 9,1–16,3 °С, рН воды 8,1–8,9. Рыбу для каждой пробы брали одного размера и возраста.

Определение рН и температуры воды осуществлено портативным анализатором Анион – 7051 фирмы ИНФРА СПАК – АНАЛИТ (г. Новосибирск). Ошибка измерения рН ±0,02, температуры воды ± 0,1 °С.

Образцы рыбы и паразитов высушивали в полевых условиях и помещали в пробирки без использования консервантов. Далее пробы измельчали до однородной порошкообразной массы. Каждая анализируемая навеска состояла из смеси тканей 10–20 тушек гольяна, 2–3 экз. хариуса, 25 стробил *P. thymalli*, одного плероцеркоида

Schistocephalus sp. или 1450 экз. метацеркарий *D. phoxini*. При изготовлении пробы сырье озоляли. Содержание металлов (Mg, Al, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ti, Tl, Mo, Hg, Co, Ni) в них определяли методом рентгеноспектрального микроанализа при помощи низковакуумного сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6380 LV (Япония), оснащенного энергодисперсионной рентгеновской приставкой Oxford INCA Energy 250

(Великобритания). Относительная ошибка измерения составила 0,1–3,0 %. Результаты получены в виде весового процента элемента в образце. Пересчет в мкг/г произведен по формуле:

$$C_{\text{мкг/г}} = C_{\text{вес. \%}} \times 104, \text{ где}$$

$C_{\text{мкг/г}}$ – массовая концентрация металла в пробе (мкг/г), $C_{\text{вес. \%}}$ – весовое процентное содержание элемента в пробе.

В пробах, результаты определения содержания металлов в которых использованы для этой публикации, отмечены только Ca, Zn, Cu, Mg, Al, Cd, Pb. По каждому металлу проведено по 10 измерений.

Принимая во внимание существование устойчивой корреляции между содержанием металлов в водоеме и организме рыбы [11], можно предположить, что отсутствие некоторых из них в рыбе и ее паразитах (в рассматриваемом случае Mn, Fe, Ti, Tl, Mo, Hg, Co, Ni) косвенно свидетельствует об отсутствии или минимальной концентрации последних в окружающей среде. Высокому содержанию металлов в воде, донных отло-



Таблица 1

Содержание металлов (мкг/г сух. массы) в рыбе и ее паразитах из р. Б. Шайтановки

Объект	Годы							
	2009				2010			
	Ca	Zn	Cu	Mg	Ca	Zn	Cu	Mg
Хариус (мышцы)	0	0	0	20,0±4,7	0	0	0	30,0±8,3
Хариус (печень)	0	70,0±4,6	148,0±8,5	30,0±4,5	0	65,0±7,4	130,0±8,7	40,0±6,9
<i>Proteocephalus thymalli</i>	660,0±35,5	150,0±19,5	220,0±12,1	30,0±4,5	630,0±23,1	170,0±14,9	240,0±17,6	40,0±7,8
Гольян (тушка)	670,0±12,6	220,0±10,5	190,0±11,3	90,0±13,4	680,0±18,5	280,0±11,7	230,0±14,3	90,0±13,6
<i>Schistocephalus s.</i> ,	510,0±34,7	290,0±13,2	340,0±14,7	320,0±11,1	490,0±29,2	320,0±19,8	290,0±13,8	340,0±9,7

жениях и в организме некоторых гидробионтов соответствует адекватное содержание последних в организме рыбы (цит. по [12]).

Результаты и их обсуждения

В мышцах хариуса отмечен только Mg. В его печени содержатся Cu, Zn, Mg (табл. 1). Ранжированный ряд этих металлов в оба года проведения работ имеет вид $Cu > Zn > Mg$.

Все исследованные особи хариуса заражены половозрелыми *Proteocephalus thymalli* (индекс обилия 14,1 экз. цестод на одну рыбу). В тканях червей зарегистрированы Ca, Cu, Zn, Mg (табл. 1). В стробилах цестод, мышцах и печени хариуса содержание Mg статистически одинаково, тогда как концентрации Zn и Cu в теле червей статистически достоверно ($P << 0,001$) выше, чем в печени хозяина. Ранжированный ряд металлов, содержащихся в тканях *P. thymalli* в оба года проведения работ, выглядит как $Ca >> Cu > Zn >> Mg$ и совпадает с таковым, исключая Ca, для металлов из печени рыб.

В тушках гольяна из р. Б. Шайтановки найдены Ca, Cu, Zn, Mg. В оба года исследований их концентрация оставалась постоянной (табл. 1). Ранжированный ряд этих металлов имеет вид $Ca >> Zn > Cu >> Mg$.

У гольяна в 2009 и 2010 гг. найдены плевроцеркоиды ремнецов (экстенсивность инвазии 1,5 %, индекс обилия 0,05–0,1 экз. на одну рыбу), в тканях которых отмечено при-

сутствие тех же металлов (табл. 1). В 2009 г. в их тканях была статистически выше концентрация Cu ($t_{st} = 2,48$; $P << 0,05$), в 2010 г. несколько выше, но статистически недостоверно содержание Zn ($t_{st} = 1,26$; $P > 0,05$) и Mg ($t_{st} = 1,36$; $P > 0,05$). В тканях паразитов концентрация Zn, Cu и особенно Mg статистически выше ($P << 0,001$), а Ca ниже ($P << 0,001$), чем в рыбе. Ранжированные ряды металлов, зарегистрированных в червях, за разные годы не совпадают. В 2009 г. ряд выглядел как $Ca >> Cu > Mg > Zn$, в 2010 г. – $Ca >> Mg > Zn > Cu$. Эти ряды не совпадают с таковым из тушек гольяна.

В тушках гольяна из р. Човью помимо Ca, Cu, Mg и Zn в 2009 г. найден Cd, а в 2011 г. – Al (табл. 2). Концентрация первых четырех металлов из года в год оставалась одинаковой. Ранжированный ряд этих металлов в 2009–2011 гг. выглядит как $Ca >> Mg > Cu > Zn$ и не совпадает с таковым из р. Б. Шайтановки.

У всех исследованных особей гольяна из р. Човью обнаружены метацеркарии *D. phoxini* (индекс обилия $90,3 \pm 12,0$ экз. на особь хозяина). В трематодах отмечено наличие Ca, Cu, Mg и Zn. Однако их концентрация в двуустках намного ниже, чем в теле рыбы (табл. 2). Ранжированный ряд металлов из метацеркарий имеет вид $Ca >> Zn = Mg > Cu$. Этот ряд не совпадает с таковыми из тушек гольяна и его мышечной ткани. В последнем случае ряд выглядит как $Zn = Mg = Cu >> Cd$.

Итак, в плероцеркоидах *Schistocephalus sp.* концентрация Cu, Zn, Mg достоверно выше, а Ca ниже, чем в тушках голяна, тогда как в метацеркариях *D. phoxini* концентрация металлов значительно ниже, чем в тушках и мышцах хозяина. В стробилах *P. thymalli*, по сравнению с печенью хариуса, выше содержание только Zn и Cu. Ранжированные ряды металлов, выявленных в телах паразитов и их хозяев, в случае системы «хариус – *P. thymalli*» совпадают, в случае систем «голяян – *Schistocephalus sp.*» и «голяян – *D. phoxini*» не совпадают.

Результаты и их обсуждение

Для *P. thymalli*, специфичного паразита хариусовых рыб, хариус – окончательный хозяин. Паразиту «невыгодна» гибель или ослабление его организма. На примере низших цестод установили, что в результате коэволюции рыбы-хозяина, гельминта и симбионтной микрофлоры в кишечнике рыбы формируется микробиоценоз [13], где черви способны адсорбировать и использовать ферменты хозяина [14]. Бактериальные ферменты участвуют в процессах пищеварения как хозяина, так и паразита [15], а сама симбионтная микрофлора глубоко адаптирована к условиям существования в кишечнике рыб и на поверхности их паразитов [16], обеспечивая гомеостаз гельминта и сбалансированность отношений в системе паразит–хозяин [17].

В результате жизнедеятельности гельминтов значения pH кишечника хозяев–рыб оказываются в пределах своих оптимальных значений для действия основных гидролитических ферментов [18]. Установлено, что при интенсивности заражения до 20 экз. червей на рыбу реакция организма хариуса носит компенсаторно-приспособительный и локальный характер. В кишечнике хариуса изменения локализованы вблизи червей, а в печени – в порталной зоне [19]. В работах [13–18] показано, что чем более специфичен паразит для хозяина, тем менее сильные патологические изменения он вызывает; в рассматриваемом случае это, видимо, проявилось в совпадении ранжированных рядов металлов из печени хариуса и стробил *P. thymalli* и невысокой, примерно в два раза, разнице в концентрации металлов (в данном случае Zn) в организме рыбы и теле червя.

D. phoxini – специфичный паразит голянов. Для продолжения жизненного цикла червям необходимо попасть в окончательного хозяина – рыбадных птиц. Однако процесс воздействия метацеркарий на голяна растянут во времени. Голяян, исследованный с сентября этого года по май следующего года, поражен *D. phoxini* на 100 % при индексе обилия 9,3–70,0 экз. на особь хозяина. Метацеркарии, сохраняясь в голяяне зимой, накапливаются в нем и живут в рыбе до 5–6 лет [20]. Гельминты, локализуясь в головном мозге рыбы, органе «дорогостоящем» и «важном», относятся к нему «бережно». Действительно, при сбалансирован-

Таблица 2

Содержание металлов (мкг/г сух. массы) в голяяне и метацеркариях *Diplostomum phoxini* из р. Човью

Год	Металлы					
	Ca	Zn	Cu	Mg	Al	Cd
Голяян (тушка)						
2009	1150,0±65,4	70,0±13,7	120,0±19,8	160,0±17,4	0	2,5±1,4
2010	1160,0±49,8	80,0±9,3	140,0±10,2	160,0±16,7	0	0
2011	1100,0±59,8	90,0±14,5	150,0±14,9	180,0±15,9	10,0±4,7	0
Голяян (мышцы)						
2010	0	70,0±10,9	60,0±9,7	70,0±11,0	0	0
<i>Diplostomum phoxini</i>						
2010	430,0±21,4	40,0±20,3	10,0±8,5	30,0±15,9	0	0

ности отношений в системе паразит-хозяин частота встречаемости паразита у хозяина, как правило, высока, а его патогенность минимальна [19], кроме случаев превышения обычной степени зараженности [9]. В описываемом случае это, видимо, отражается в существенно меньшей концентрации металлов в метацеркариях по-сравнению с тканями хозяина (табл. 2). Однако со временем, по мере роста интенсивности инвазии, различия ранжированных рядов металлов из рыбы и червей вызывают нарушение баланса металлов в организме гольяна, ослабляя его и делая уязвимым для хищника.

В отличие от *P. thymalli* и, в меньшей мере, *D. phoxini*, плероцеркоиды *Schistocephalus sp.* — виды малоспецифичные и в случае достижения инвазионности «заинтересованы», в том, чтобы рыба была съедена окончательным хозяином, (рыбоядной птицей). Этот процесс протекает достаточно быстро. Развитие плероцеркоидов в рыбе до инвазионного состояния занимает, в зависимости от их видовой принадлежности, от 2 до 6 мес. [21]. В рассматриваемом случае это, видимо, менее 6 мес.

Первых гольянов, пораженных плероцеркоидами ремнецов, находили в русле р. Печоры в районе пос. Якша 19 мая 2006 г., 20 мая 2007 г. и 6 июня 2003 г. В низовьях р. Б. Шайтановки 2 июля 2009 г. и 5 июля 2010 г. они имели длину 112–120 мм при ширине стробилы 4 мм. В районе устья р. Гаревки 3 июля 2010 г. длина их тела составляла 10–27 мм. Основную массу этих червей обнаружили с конца июня по август. Самая поздняя находка сделана 20 ноября 2006 г. В зимний период года (декабрь–февраль) исследовано около 2000 экз. гольяна, но пораженных ремнецами рыб не обнаружили.

Особенностью этих цестод является то, что на стадии плероцеркоида, когда паразит интенсивно растет, достигая больших размеров, у них протекает морфогенез половой системы. Для этих преобразований организм должен быть обеспечен большим количеством пластических и энергетических материалов [22]. В процессе роста и жизнедеятельности ремнецы оказывают массивное механическое воздействие на внутренние органы рыбы, вызывая их атрофию и нарушение функциональной деятельности [23], наблюдается редукция гонад, негативное воздействие на морфологические показатели крови, снижение уровня отдельных иммунологических и биохимических ее параметров, обеспечивающих иммунологический гомеостаз хозяина [24–26], ухудшается эф-

Ключевые слова: металлы, паразиты рыб, гольян, *Phoxinus phoxinus*, хариус, *Thymallus thymallus*

фективность питания рыбы (очевидно, из-за снижения активности пищеварительных гидролаз) [27]. Установлена зависимость части исследованных признаков от размера червей [28]. Паразит, видимо, изменяет химический баланс организма хозяина, концентрируя в своем теле металлы, особенно Mg. При этом ранжированные ряды металлов из цестод отличаются от таковых из тела хозяина и разнятся в разные годы. Перечисленные явления отрицательно влияют на жизненно важные функции тканей рыбы и ее организм в целом. Под влиянием механического воздействия паразита на плавательный пузырь рыба теряет способность нормально держаться в толще воды и противостоять течению, она всплывает на поверхность и течением пассивно сносится в более тихие места, где становится легко доступной рыбоядным и хищным птицам [23]. Если рыба оказывается не съеденной, она погибает. Так, на р. Илыч в районе устья ручья Щука-Вож 15 августа 2006 г. нашли прибитых к берегу бычков–подкаменщиков с плероцеркоидами *Schistocephalus sp.* в полости тела.



Заключение

Таким образом, паразит, наиболее «заинтересованный» в гибели рыбы для продолжения своего жизненного цикла, более других накапливает металлы, ранжированные ряды которых разнятся в разные годы и отличаются от таковых, составленных по данным о содержании металлов в теле хозяина.

Литература

1. Богданова Е. А. Паразитофауна и заболевания рыб крупных озер Северо-запада России в период антропогенного преобразования их экосистем. СПб: ГосНИОРХ, 1995. 140 с.
2. Sures B. How parasitism and pollution affect the physiological homeostasis of aquatic hosts // *Journal of Helminthology*. 2006. № 80. P. 151-157.
3. Urdes L. — D. Research on Interrelationship between some Species of Freshwater Fish and Helminthic Larvae within Aquatic Ecosystems Polluted with Heavy Metals / L. — D. Urdes, C. Diaconescu, G. Vlase. et al. // *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. 2010. V. 43. № 2. P. 72-75.
4. Перевозников М. А. Распространение тяжелых металлов среди различных звеньев экосистемы бассейна Ладожского озера / М. А. Перевозников, Е. А. Богданова, А. М. Пономаренко // *Сб. науч. тр. ГосНИОРХ*. 1990. Вып. 315. С. 25-43.
5. Baruš V. *Philometra ovata* (Nematoda: Philometroidea): a potential sentinel species of heavy metal accumulation / V. Baruš, J. Jarkovsky, M. Prokeš // *Parasitol. Res.*, 100, Springer-Verlag. 2006. P. 929-933.
6. Sues B. Intestinal Fish Parasites as Heavy Metal Bioindicators: A Comparison Between *Acanthocephalus lucii* (Palaecanthocephala) and the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha* / B. Sues, H. Taraschewski, M. Rydlo // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1997. № 59. P. 14-21.
7. Sures B. Parasites as Accumulation Indicators of Heavy Metal Pollution / B. Sures, R. Siddall, H. Taraschewski // *Parasitology Today*. 1999. V. 15. № 1. P. 16-21.
8. Салтыкова С. А. Сравнительный анализ особенностей накопления тяжелых металлов в рыбах и их паразитах (на примере экосистемы Ладожского озера): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 2006. 23 с.
9. Гусев А. В. Экологическая сущность паразитологии / А. В. Гусев, Ю. И. Полянский // *Вестник ЛГУ*. 1978. № 3. С. 5—14.
10. Pourang N. Tissue distribution and redistribution of trace elements in shrimps species with the imphasis on the roles of metallotionein / N. Pourang, J. H. Dennis, H. Ghourchian // *Ecotoxicology*. 2004. V. 13. № 6. P. 519-533.
11. Ружин С. В. Тяжелые металлы в рыбах Невской губы и восточной части Финского залива / С. В. Ружин, К. В. Волков // *Итоги деятельности рыбохозяйственных институтов Росрыбхоза в XII пятилетке и основные направления исследований на 1991—1995 гг. Вып. 2. Л.: ГосНИОРХ, 1991. С. 31-34.*
12. Барковская В. В. Паразиты рыб Финского залива как индикаторы экологического состояния его акватории // *Сб. науч. тр. ГосНИОРХ*. 1997. Вып. 321. С. 147-153.
13. Плотников А. О. Морфологическая и ультраструктурная характеристика симбиотических бактерий, колонизирующих поверхность гельминта *Triaenophorus nodulosus* и кишечник щуки *Esox lucius* / А. О. Плотников, Ж. В. Корнева // *Биология внутр. вод*. 2008. № 1. С. 27-34.
14. Извекова Г. И. Физиологическая специфика взаимоотношений между *Triaenophorus nodulosus* (Cestoda) и его хозяевами — рыбами // *Паразитология*. 2001. Т. 35. № 1. С. 60-68.



15. Извекова Г.И. Пищевые адаптации у низших цестод — паразитов рыб // Успехи современ. биологии. 2006. Т. 126. № 6. С. 605-617.
16. Корнева Ж.В. Симбионтная микрофлора рыб и их кишечных паразитов цестод // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2009. Вып. 338. С. 105-109.
17. Корнева Ж.В. Симбионтная микрофлора, колонизирующая тегумент протеоцефалидных цестод и кишечник их хозяев — рыб / Ж.В. Корнева, А.О. Плотников // Паразитология. 2006. Т. 40. Вып. 4. С. 313-327.
18. Извекова Г.И. Активность протеаз микрофлоры пищеварительно-транспортных поверхностей кишечника щуки и паразитирующего в нем *Triaenophorus nodulosus* (Pallas, 1781) (Cestoda, Pseudophyllidea) // Биология внутр. вод. 2003. № 3. С. 82-87.
19. Пронина С.В. Взаимоотношения в системах гельминты-рыба (на тканевом, органном и организменном уровнях) / С.В. Пронина, Н.М. Пронин. М.: Наука, 1988. 176 с.
20. Головина Н.А. Ихтиопатология / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин и др. М.: Мир, 2003. 448 с.
21. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 3. Паразитические многоклеточные (Ч. 2). Л.: Наука, 1987. 583 с.
22. Высоцкая Р.У. Сравнительно-биохимические исследования в системе *Schistocephalus solidus* (Cestoda) — колюшка трехиглая *Gasterosteus aculeatus* L. / Р.У. Высоцкая, Е.П. Иешко, Н.В. Евсеева // Паразитология. 2003. Т. 37. Вып. 6. С. 503-511.
23. Дубинина М.Н. Ремнецы фауны СССР. М. — Л.: Наука, 1966. 261 с.
24. Arme C. *Ligula intestinalis* a tapeworm contraceptive // Biologist. 2002. V. 49. № 6. P. 265-269.
25. Brown S.P. Host manipulation by *Ligula intestinalis*: a cause or consequence of parasite aggregation? / S.P. Brown, G. Loot, A. Teriokhin et al. // Int. Parasitology. 2002. № 32. P. 817-824.
26. Мазур О.Е. Показатели крови и иммунной системы *Rutilus rutilus lacustris* (Cypriniformes: Cyprinidae) при инвазии плероцеркоидами *Ligula intestinalis* (Pseudophyllidea: Ligulidae) / О.Е. Мазур, Н.М. Пронин // Вопросы ихтиологии. 2006. Т. 46. Вып. 3. С. 393-397.
27. Извекова Г.И. Зараженность и особенности отношений паразит-хозяин в системе *Ligula intestinalis* — чехонь (*Pelecus cultratus*) в Рыбинском водохранилище / Г.И. Извекова, А.В. Тютин // Поволжский экологический журнал. 2011. № 2. С. 137-145.
28. Силкина Н.И. Особенности показателей перекисного окисления липидов у *Ligula intestinalis* (Cestoda: Pseudophyllidea) и их хозяев — *Abramis brama* (L.) / Н.И. Силкина, В.Р. Микряков // Паразитология. 2005. Т. 39. Вып. 2. С. 117-123.

G.N. Dorovskikh, V.V. Mazur

LIFE STRATEGY OF FISH PARASITES AND THEIR METAL ACCUMULATION

Adult cestodes *Proteocephalus thymalli* (Annenkova-Chlopina, 1923) from intestinal tract of grayling *Thymallus thymallus* (L.), metacestode of tapeworms *Schistocephalus* sp. from body cavity of minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) and metacercaria of trematodes *Diplostomum phoxini* Faust, 1918 from minnow brain were tested on metal accumulation. A correlation between a life strategy of fish parasites and their metal accumulation capability was identified.

Key words: metals, fish parasites, minnow, *Phoxinus phoxinus*, grayling, *Thymallus thymallus*