

УДК 595.143:597.6:574.64

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНИЗМЕ АМФИБИЙ И ПИЯВОК ВОДОЕМОВ ВОЛОГОДСКОЙ И ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЕЮ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

В. Т. Комов¹, Е. С. Иванова², В. А. Гремячих¹, Л. Н. Лапкина¹, Л. В. Козлова²,
Е. Н. Желеток², А. М. Киркина², Д. Э. Кудряшова², Е. В. Щедрова¹, Д. Г. Селезнев¹

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru

²Череповецкий государственный университет, 162600 г. Череповец, пр. Луначарского, 5

Определено содержание ртути в органах пяти видов земноводных и телах семи видов пиявок, отловленных в природе. Средние значения показателя у амфибий лежат в диапазоне 0.007–0.101, пиявок – 0.014–0.065 мг/кг сырой массы. Выявлена зависимость концентрации ртути в объектах исследования от таксономического положения животных, особенностей среды их обитания, вида исследуемой ткани. В эксперименте установлены последствия алиментарного поступления ртути в организм животных на ряд биологических параметров (скорость метаморфоза личинок жабы, модификация поведения головастики прудовой лягушки и пиявок). Результаты исследования вносят вклад в изучение механизмов миграции и распределения соединений ртути в водных, околоводных и наземных экосистемах и могут быть использованы для экологического мониторинга окружающей среды, а также включены в курсы вузовских дисциплин по специальности экология и токсикология.

Ключевые слова: хвостатые и бесхвостые амфибии, плоские, челюстные, глоточные пиявки, ртуть.

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть в водной среде существует в виде множества физических форм и химических соединений – элементарная ртуть (Hg^0), неорганические соединения (Hg^{2+}), монометилртуть (CH_3Hg^+), диметилртуть (CH_3HgCH_3), что сказывается на механизме ее распространения, способности к биоаккумуляции, на проявлении токсических свойств, поскольку разные формы по-разному проникают, метаболизируются и выводятся из организма. Одно из самых распространенных и опасных ее соединений – метилртуть [Bloom, 1992; Ellis, 1989; Freedman, 1989]. Сегодня об ее агрессивности известно не только специалистам, но и общественности многих стран. Этому способствовали случаи массовых ртутных отравлений животных (особенно птиц) и человека, начавшиеся в середине 20 века в Японии и ряде других стран по причине загрязнения окружающей среды метилртутью, активно циркулирующей по трофическим сетям, аккумулируемой морепродуктами, попадающими в рацион питания наземных позвоночных, в том числе и человека.

У метилртути более высокая, по сравнению с неорганическими формами ртути, способность проникать через биологические мембраны, вступать в химическую связь с сульфгидрильными SH-группами белковых молекул, что приводит к подавлению ряда

мембранных и митохондриальных ферментов, к развитию патологических процессов, в том числе нарушению сенсорных и двигательных функций центральной нервной системы. Спектр патологических изменений, вызываемый метилртутью в организме на всех его уровнях, широк и не специфичен, к тому же она способствует активации перекисного окисления липидов [Казначеев, Дарянин, 1989 (Kaznacheev, Daryanin, 1989); Габайдуллин и др., 1999 (Gabaydulin et al., 1999); Немова и др., 2014 (Nemova et al., 2014)].

Выведение метилртути из организма животных происходит медленно, что приводит к ее быстрому накоплению – особенно в объектах, замыкающих пищевую пирамиду, таких как рыбы, птицы и млекопитающие [Scheuhammer et al., 2007]. В связи с этим, именно у них процессы накопления и распределения метилртути в организме исследованы более полно по сравнению с другими группами позвоночных. Земноводные в этом плане изучены мало. То же самое можно сказать о некоторых водных беспозвоночных, в частности, пиявках – их водных и амфибионтных видах. Земноводные и пиявки – хищные животные, консументы 2-го и более высоких порядков, являются важными представителями водных, околоводных и наземных экосистем, часто отмеча-

ются в массовом количестве. Однако их роль в накоплении и передаче ртути по трофическим сетям, распределении металла в организме животных, биологические последствия, к которым приводят эти процессы, на сегодня изучены недостаточно.

Цель работы – в полевых и эксперимен-

тальных исследованиях выявить основные закономерности накопления ртути и ее распределение по различным органам у массовых видов земноводных, а также в телах разных видов пиявок; проследить в эксперименте возможные биологические последствия поступления металла в организм животных с пищей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор земноводных и пиявок осуществляли в мае–июле 2014–2016 гг. на территории 9 районов Вологодской области, различающихся природно-климатическими условиями и степенью развития промышленности (табл. 1), а также в п. Борок Некоузского района Ярославской области. Используемые в работе

виды земноводных приведены в таблице 1 с учетом общепринятой в настоящее время таксономической системы [Ананьева, 1998 (Ananueva, 1998); Писанец, 2007 (Pisanets, 2007); Дунаев, Орлова, 2012 (Dunaev, Orlova, 2012); Кузьмин, 2012 (Kuzmin, 2012)].

Таблица 1. Собранные и обработанные представители земноводных – кл. Amphibia

Table 1. The collected and analyzed organisms of amphibians, class Amphibia

Объект Object	Место сбора, район Site of sampling, region	Количество Number of	
		Особей Specimens	Проб Samples
Отряд Caudata (хвостатые амфибии)			
Сем. Salamandridae Обыкновенный тритон <i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) = <i>Triturus vulgaris</i> L. 1758	Кирилловский	5	30
Отряд Anura (бесхвостые амфибии)			
Семейство Bufonidae (настоящие жабы)			
Серая жаба <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758)	Кирилловский	7	42
	Череповецкий	6	36
	Шекснинский	9	54
Семейство Ranidae (настоящие лягушки)			
Род бурые лягушки Травяная лягушка <i>Rana temporaria</i> Linnaeus, 1758	Великоустюгский	8	40
	Тотемский	9	54
	Вытегорский	8	40
	Кадуйский	8	40
	Вожегодский	7	42
	Вашкинский	7	42
	Некоузский (Ярославская обл.)	15	90
Род зеленые лягушки Прудовая лягушка <i>Pelophylax lessonae</i> (Camerano, 1882) = <i>Rana esculenta</i> Linnaeus, 1758) = <i>Rana lessonae</i> Озерная лягушка <i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771) = <i>Rana ridibunda</i>	Череповецкий,	4	24
	Вашкинский	7	42

Краткая характеристика использованных в работе земноводных.

Обыкновенный тритон *Lissotriton vulgaris* размножается в воде стоячих и слабопроточных лесных водоемов. Личинки тритона в отличие от личинок бесхвостых амфибий ведут хищный образ жизни: поедают дафний и других мелких водных беспозвоночных. Взрослые особи кормятся в водоемах моллюсками, ракообразными, личинками насекомых,

на суше – жуками, гусеницами бабочек, многоножками, пауками, дождевыми червями и другими беспозвоночными. В рационе питания преобладают черви и многоножки. На суше тритон тяготеет к листовным и смешанным, реже хвойным лесам, зарослям кустарника, достигает в длину 8–11 см [Кузьмин, 2012 (Kuzmin, 2012)].

Серая жаба *Bufo bufo* предпочитает влажные места с высокой травянистой расти-

тельностью. Самка крупнее самца и достигает в длину 13–14 см. После зимней спячки жабы для размножения мигрируют к водоемам, проходя иногда до 2.5 км. Выклев головастика наступает через 3–15 суток и зависит от температуры воды, личиночное развитие по той же причине длится 45–95 суток. В питании головастика доля животных кормов составляет 48.9% [Моткова, Гаранин, 1987 (Motkova, Garanin, 1987)]. В период размножения жабы не питаются, у отнерестившихся особей среди кормов преобладают наземные беспозвоночные – жуки, муравьи, двукрылые, многоножки и т. д. Крупные жабы могут нападать на мелких ящериц, мышей, в пищу сеголеток попадают водные беспозвоночные.

Травяная лягушка *Rana temporaria* достигает в длину 10 см. Лето проводит на суше, удаляясь от водоемов на значительные расстояния, но населяет лишь влажные биотопы – смешанные и лиственные леса, заболоченные луга, болота и антропогенные ландшафты (поля, сады, парки). Она способна без вреда для себя терять большее количество воды, чем прудовая лягушка, но значительно меньше, чем жаба. Головастики питаются детритом, водорослями и высшими растениями, животная пища потребляется в меньшем количестве. В период метаморфоза (после прорыва передних конечностей) питание на время прекращается, и возобновляется, когда особи еще имеют длинный остаток хвоста [Вершинин, 1995 (Verшинin, 1995)]. Взрослые лягушки активны ранним утром и в темное время суток, но в пасмурную погоду встречаются и днем. Кормятся в основном сухопутными беспозвоночными, набор которых в рационе сильно зависит от температуры и влажности [Кузьмин, Сулова, 1994 (Kuzmin, Surova, 1994)].

Прудовая лягушка *Pelophylax lessonae* – полуводный вид. Она обычна в лесной зоне, осваивает небольшие заросшие растительностью речки, заливные луга, болота, пруды, ямы, песчаные карьеры с водой, лужи, колеи лесных дорог. Размеры тела 8–11 см. Головастики проходят развитие за 1.5–2.5 месяца, иногда и зимуют. Питаются в основном микроскопическими водорослями. Половозрелые особи едят водных беспозвоночных, личинок насекомых, но их в рационе не более 50%. Они потребляют также икру и мальков рыб, сеголеток лягушек, личинок тритонов, жерлянок, чесночниц и жаб. Брачный пост у прудовой лягушки отсутствует [Дунаев, 1999 (Dunaev, 1999), Файзулин и др., 2013 (Faizulin et al., 2013)].

Озерная лягушка *Pelophylax ridibundus* – самый крупный вид в фауне земноводных России, длина тела до 15 см. Обитает в воде или около нее, активна почти круглые сутки, днем уходит в водоем пополнить запас влаги в теле, ночь проводит на суше. Активное питание головастика начинается после расходования запасов желтка и прорыва рта. В их рационе – одноклеточные диатомовые и зеленые водоросли, простейшие, жгутиковые. С возрастом набор объектов питания расширяется, добавляются мелкие ракообразные. Добычей лягушек наряду с беспозвоночными становятся головастики других видов и взрослые амфибии (краснобрюхая жерлянка, зеленая жаба, остромордая лягушка и др., включая особей собственного вида), а также мальки рыб, рептилии (прыткая ящерица, молодые особи обыкновенного и водяного ужа), некоторые виды птиц и мелкие млекопитающие [Файзулин и др., 2013 (Faizulin et al., 2013)].

Видовую принадлежность пиявок определяли по Е.И. Лукину [Лукин, 1977 (Lukin, 1977)] (табл. 2). Исследованные виды животных (табл. 1, 2) расположены внутри каждого класса в соответствии с их местом в эволюционном ряду – от более древних к более молодым и продвинутым [Лукин, 1976 (Lukin, 1976)].

Краткая характеристика использованных в работе пиявок и их отличительные признаки. Представители отряда Rhynchobdellida (хоботные) сем. Glossiphoniidae (плоские) не умеют плавать, своих жертв или хозяев не преследуют, а поджидают. В большинстве своем питаются жидкостями, которые высасывают из тел беспозвоночных. Имеются виды, высасывающие кровь рыб или птиц.

Hemiclepsis marginata – кровосос, эктопаразит рыб и амфибий. После насыщения пиявка покидает хозяина и несколько дней или недель до нового кормления ведет свободный от паразитизма образ жизни. Отличительные признаки – тело визуально разделяется на туловище и “голову”, на которой расположены две пары глаз. Длина взрослой особи в покое 2.5–3 см; консистенция тела мягкая; покровы зеленовато-желто-коричневые [Лукин, 1976 (Lukin, 1976)].

Glossiphonia complanata высасывает содержимое тел водных моллюсков. В спокойном состоянии похожа на маленький широкий листочек, сужающийся к обоим концам тела. Длина ее около 3 см, ширина 8–10 мм, на спинной стороне две продольные темные пунктирные линии, сближающиеся между собой и доходящие до 3-х пар глаз [Лукин, 1976 (Lukin, 1976)].

Helobdella stagnalis высасывает содержимое тел олигохет, хирономид и других личинок водных насекомых, мелких членистоногих. Относится к массовым видам. Остальные виды этого семейства редко встречаются в водоемах, несмотря на их широкое распространение. В спокойном состоянии *H. stagnalis* не более 1 см в длину, при ширине около 3 мм. На переднем конце тела находится линзообразная коричневая пластинка, по которой пиявку можно узнать без прочих отличительных признаков, а также по одной паре крупных глаз (остальные виды имеют от 2 до 5 пар глаз) [Лукин, 1976 (Lukin, 1976)].

Пиявки отряда Arhynchobdellida (бесхоботные), представители семейств Hirudinidae (челюстные) и Erpobdellidae (глочные) – хищные виды, эврифаги, активные охотники, заглатывающие своих жертв целиком.

Haemopsis sanguisuga (сем. челюстные) – самая крупная пиявка среди представителей

класса, длиной около 10 см. На головном конце 5 пар глаз. *H. sanguisuga* – амфибия, эврибионт, в круг ее пищевых объектов попадают не только разнообразные водные беспозвоночные, но и почвенные черви – олигохеты, головастики лягушек, мальки и молодь мелких рыб. Нападает на крупных рыб-производителей, держащихся у дна.

Семейство Erpobdellidae считается эволюционно самым молодым и прогрессивным в классе пиявок. Представители подрода *Erpobdella* – наиболее примитивные в семействе, подрода *Dina* – более продвинутые [Лукин, 1976 (Lukin, 1976)]. Все виды семейства – пищевые конкуренты. Спектр пищевых объектов очень широк и ограничивается лишь размером жертвы. Чаще всего пиявки заглатывают олигохет, личинок насекомых, в частности хирономид, мелких ракообразных – водяных осликов и других беспозвоночных.

Таблица 2. Собранные и обработанные пиявки (кл. Hirudinea)

Table 2. The collected and analyzed organisms of leeches (class Hirudinea)

Объект Object	Место сбора, район Site of sampling, region	Количество Number of		
		Особей Specimens	Проб Samples	
Отряд Rhynchobdellea (хоботные пиявки)				
Сем. Glossiphoniidae (плоские)				
<i>Hemiclepsis marginata</i> (O.F. Muller, 1774)	Различные водоемы (пруды, канал) в окрестностях п. Борок,	34	34	
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)		26	26	
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)		50	5	
Отряд Arhynchobdellea (бесхоботные пиявки)				
Сем. Hirudinidae (челюстные)				
<i>Haemopsis sanguisuga</i> Savigny, 1820	Пруды в окрестностях п. Борок,	10	20	
Сем. Erpobdellidae (глочные)				
<i>Erpobdella (Erpobdella) octoculata</i> (Linnaeus, 1758)		12	12	
<i>Erpobdella (Erpobdella) testasia</i> Savigny, 1820		6	6	
<i>Erpobdella (Dina) lineata</i> (O.F. Muller, 1774)		8	8	

Erpobdella octoculata пиявка длиной до 8 см, шириной менее 1 см, ее темное тело уплощено и усыпано на спине многочисленными мелкими сосочками и желтыми пятнышками, которые расположены на каждом кольце сомита, образуя поперечные ряды. На задней присоске ряды пятнышек радиальные.

Erpobdella testasea более узкая пиявка по сравнению с *E. octoculata*, поверхность ее тела – гладкая, с оттенком коричневого или серого цветов; на спине – срединная еще более

темная полоса с неровными краями; брюшко чуть светлее спины.

Erpobdella (Dina) lineata – гладкая коричневая пиявка с двумя срединными более светлыми продольными полосами с ровными краями на спине. Брюшко чуть светлее спины. Вид по происхождению южный. В отличие от всех выше упомянутых редкий для Ярославского Поволжья. Все особи были отловлены в одном пересыхающем пруду, где не обитали их конкуренты – *E. octoculata* и *E. testasea*.

Пиявок разбирали по видам, определяли массу каждой особи у крупных видов или общую массу нескольких пиявок у мелких (*Haemotopis stagnalis*) и помещали в пластмассовых пробирках в холодильник. Таким образом, каждая проба *H. stagnalis* состояла из нескольких особей, пробы других видов – из одной пиявки, за исключением *H. sanguisuga*. У этого крупного вида от одной особи брали на анализ 2 пробы – часть спинной мышцы и внутренние органы.

Отловленных земноводных подвергали декапитации для изъятия органов: печени, почек, сердца, мышц, кожи, стенки кишечника. Пробу каждого органа взвешивали и помещали в полиэтиленовый пакет, хранили в замороженном виде при температуре от -4 до -16°C .

Содержание ртути в каждой пробе определяли в лаборатории физиологии и токсикологии водных животных ИБВВ РАН и лаборатории биохимии кафедры биологии Череповецкого государственного университета на ртутном анализаторе РА-915+ с приставкой ПИРО атомно-абсорбционным методом холодного пара с диапазоном измерения 0.001 – 5 мг/кг. Пробу массой 10 – 50 мг помещали на кварцевый дозатор, переносили в ячейку термализа и сжигали при температуре 300°C в течение 1 – 2 минут (для данного анализатора не требуется какой-либо предварительной обработки или разложения образцов). Точность аналитических методов измерения контролировали с использованием сертифицированного биологического материала DORM-2 и DOLM-2 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада).

Помимо объектов из природы, содержание ртути определяли в экспериментальных животных – головастиках двух видов амфибий (жабы и травяной лягушки) и пиявках двух видов семейства глоточных – *Erpobdella (E.) octoculata* и *E. (D.) lineata* с целью подтверждения основного алиментарного пути поступления в их организм ртути, а также выявления возможных последствий хронической ртутной интоксикации. Пиявок *E. octoculata* отлавливали в трех разных прудах, по 40 особей из каждой популяции. Животных содержали по 20 экз. в двухлитровых эксикаторах.

Головастики амфибий также были поделены на контрольную и опытную группы: личинок серой жабы содержали по 300 особей в больших пластиковых аквариумах объемом около 500 л; личинок прудовой лягушки – в аквариумах меньшего объема (≈ 200 л) по 150 особей в каждом.

Емкости с животными находились в помещении с температурой 18 – 21°C . Ежедневно, утром в емкости помещали рыбный фарш из расчета 5% от массы головастика. Головастики во всех случаях питались в основном микрофлорой, растущей на фарше, а пиявки – непосредственно фаршем. Для контроля использовали фарш из мышц минтая и плотвы с низким (0.02); для опыта – фарш из мышц окуня с высоким (0.07 – 0.11 мг/кг сырой массы) содержанием ртути. Головастикам воду не меняли, но убирали остатки не съеденного корма; пиявкам после кормления воду заменяли.

Для анализа содержания ртути у головастика жабы их отбирали на одной и той же стадии метаморфоза, а именно при “появлении задних конечностей”. Достижение этой стадии разными особями было растянуто больше, чем на две недели. У головастика прудовой лягушки накопленную ртуть измеряли на стадии метаморфоза “лягушонок с остатками хвоста” через 17 дней после их вылова из пруда на стадии “появление развитых складок жаберных крышек”.

Для выявления возможного влияния ртути на поведение пиявок исследовали их тигмотаксис. С этой целью в емкости с пиявками помещали предметные стекла и ежедневно регистрировали число особей, расположившихся под стеклом (рис. 1). Наблюдения вели за 4-мя группами пиявок от 14 до 28 дней.

О влиянии накопленной ртути на поведение земноводных судили в опыте “хищник-жертва”. Жертвами являлись головастики прудовой лягушки *Pelophylax lessonae*, которых через 17 дней кормления рыбным фаршем с разным содержанием ртути, помещали по 10 опытных и контрольных особей в отдельные емкости объемом 3 л на стадии метаморфоза “лягушонок с остатками хвоста”. Эффективность реакции избегания ими хищника – интактной пиявки *Herpobdella octoculata*, сутки проведенной без пищи, оценивали по количеству проведенных ею успешных атак на протяжении 1 часа. Опыт и контроль проводили в десятикратной повторности.

Статистический анализ. Результаты представляли в виде средних значений и их ошибок ($\bar{x} \pm m\bar{x}$). Достоверность различий оценивали, используя метод однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест Фишера) при уровне значимости $p \leq 0.05$ [Sokal, Rolf, 1995]. Если распределение исходных данных отличалось от нормального [Shapiro, Wilk, 1965], то использовали ранго-

вый критерий Краскела-Уоллеса [Kruskal, Wallis, 1952], а также пермутационный аналог дисперсионного анализа, основанный на матрице расстояний. Для определения корреляционных связей между количеством металла в

разных парах органов животных и зависимости его количества в органах от местообитания объектов использовали коэффициент корреляции Пирсона ($s, p \leq 0.05$).



Рис. 1. Проявление положительного тигмотаксиса глоточными пиявками.

Fig. 1. Manifestation of positive thigmotaxis by some pharyngeal leeches.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание ртути в организме отловленных в природных водоемах и прудах амфибий и пиявок. Амфибии. Содержание ртути в органах у 5 исследованных видов амфибий – представителей двух отрядов земноводных, отловленных в Вологодской и Ярославской областях, варьирует в пределах 0.002–0.238 мг/кг сырой массы (всего 580 проб). Средние концентрации ртути по всем органам каждого вида исследованных земноводных (табл. 3) независимо от их места сбора (табл. 1), как правило, ниже, чем у представителей других классов позвоночных этого же региона [Комов и др., 2012 (Komov et al., 2012); Stepanova, Komov, 1997)].

Представитель отряда хвостатых амфибий (обыкновенный тритон) менее всех способен накапливать ртуть. У амфибий отряда бесхвостые земноводные (жаба и лягушки) средние концентрации ртути в исследованных органах (за исключением кожи) превышают таковые у тритона иногда в 2 и более раз (табл. 3). Можно предположить, что эти отличия

обусловлены их принадлежностью к разным отрядам и характером питания.

Установлено, что внутри отряда бесхвостых амфибий диапазон накопленной ртути меньше в органах серой жабы из сем. Bufonidae (0.007–0.067 мг/кг), чем в органах 3 видов лягушек сем. Ranidae (0.019–0.101), за исключением печени прудовой и травяной лягушек. Этот орган у них по содержанию металла уступает таковому у жаб, в отличие от кожи, кишечника, сердца, скелетных мышц и почек. У представителей двух указанных семейств в большинстве органов различия по содержанию ртути статистически достоверны. Вероятно, и в данном случае принадлежность вида к определенной таксономической группе – семейству – отражается на способности животных накапливать в организме ртуть.

Для представителей одного сем. Ranidae установлено, что у лягушек на уровне родов (зеленые и бурые) отличия более выражены, чем на уровне видов одного рода – зеленые

(прудовая и озерная лягушки). У бурой травяной лягушки концентрации ртути во всех без исключения органах ниже, чем у зеленой озерной (табл. 3). В то же время в органах зеленых лягушек (прудовой и озерной) достоверные отличия в содержании металла отмечены только в сердце, почках и печени.

Таблица 3. Содержание ртути (мг/кг сырой массы) в органах разных видов амфибий (виды расположены сверху вниз в последовательности от более древних к более прогрессивным)

Table 3. The mercury content (mg/kg wet weight) in organs of different amphibian species (species are presented top-down in a sequence from more ancient to more progressive ones)

Вид Species	Орган Organ					
	Кожа Skin	Кишечник Intestine	Сердце Heart	Мышцы Muscles	Почки Kidneys	Печень Liver
Обыкновенный tritон	0.023 ± 0.003^{ab} 0.015–0.030	0.009 ± 0.001^a 0.006–0.012	0.015 ± 0.002^a 0.010–0.020	0.012 ± 0.002^{ab} 0.006–0.017	0.021 ± 0.003^a 0.013–0.030	0.031 ± 0.004^a 0.019–0.044
Серая жаба	0.007 ± 0.001^c 0.001–0.021	0.010 ± 0.001^a 0.002–0.023	0.021 ± 0.003^b 0.004–0.054	0.023 ± 0.001^a 0.002–0.029	0.034 ± 0.002^{abc} 0.002–0.052	0.067 ± 0.005^a 0.004–0.084
Травяная лягушка	0.019 ± 0.001^b 0.004–0.051	0.021 ± 0.001^b 0.002–0.051	0.021 ± 0.003^b 0.003–0.075	0.027 ± 0.002^c 0.008–0.063	0.038 ± 0.003^b 0.008–0.102	0.056 ± 0.005^a 0.010–0.153
Прудовая лягушка	0.022 ± 0.005^b 0.009–0.061	0.025 ± 0.002^{bc} 0.014–0.038	0.025 ± 0.004^b 0.008–0.059	0.048 ± 0.006^d 0.013–0.091	0.050 ± 0.009^c 0.010–0.095	0.055 ± 0.018^b 0.021–0.238
Озерная лягушка	0.027 ± 0.003^d 0.014–0.043	0.030 ± 0.002^c 0.019–0.041	0.058 ± 0.004^c 0.042–0.078	0.050 ± 0.002^d 0.037–0.059	0.074 ± 0.003^d 0.048–0.088	0.101 ± 0.003^c 0.089–0.123

Примечание. Над чертой – средние значения и их ошибки ($x \pm tx$); под чертой – диапазон разброса. a, b, c – значения с разными буквенными надстрочными индексами достоверно различаются между видами (в колонках), при уровне значимости $p < 0.05$.

Таким образом, уровень накопления ртути в классе земноводных в определенной степени связан с местом вида в филогенетическом ряду, принадлежностью его к тому или иному отряду, семейству, роду и виду.

По содержанию ртути исследованные органы у разных видов амфибий не вполне совпадают: у озерной лягушки это печень > почки > сердце > мышцы > кишечник > кожа. У остальных трех бесхвостых амфибий – скелетные мышцы накапливают ртути больше, чем мышца сердца, причем у прудовой лягушки эти различия достоверны. У всех пяти исследованных видов земноводных самое высокое содержание металла отмечено в печени, ниже – в почках. По данным других авторов мышца жабы *Bufo bufo* из района Тулос (Финляндия) содержала ртути 0.03 мг/кг сырой массы, в то время как печень накопила в 4 раза больше – 0.12 [Terhivuo, 1984]. В почках озерной лягушки, обитающей в Казахстане, обнаружено металла 0.21, в печени – 0.38 мг/кг [Токтамыссова, Маханбетова, 2007 (Toktamyssova, Makhanbetova, 2007)].

Более низкие концентрации зарегистрированы у лягушки прудовой. Среди исследованных земноводных озерная лягушка – филогенетически более продвинутая, и в органах представителей этого вида определены максимальные уровни накопления металла.

Среди исследованных земноводных жаба и озерная лягушка – наиболее крупные и прожорливые хищники, жертвами их являются любые организмы, которых они способны проглотить. Печень именно этих 2-х видов содержит ртути в большем количестве по сравнению с печенью других, более мелких видов амфибий, рацион питания которых более жестко ограничен величиной поедаемых объектов и сводится часто к молодым жертвам, которые еще не сумели накопить того количества металла, присутствующего во взрослых особях того же вида. Установлено, что у озерной лягушки, выловленной в природе в разных местах страны, представлено наибольшее разнообразие типов морфологических аномалий (всего 14), по сравнению с другими видами амфибий, обитающих там же [Файзулин, 2005, 2011, 2012 (Faizulin, 2005, 2011, 2012); Файзулин, Чихляев, 2006 (Faizulin, Chikhlyayev, 2006)]. Вероятно, это отражает интенсивность токсического пресса, под которым находится данный вид и непосредственно связанного с особенностями питания озерной лягушки.

В работах на зеленых и бурых лягушках показано, что уровни накопления ртути амфибиями определяются спектром их питания. Концентрация металла значительно выше в органах и тканях зеленых лягушек (озерная, прудовая), основу кормового спектра которых составляют гидробионты, в частности – водные беспозвоночные. У бурой лягушки (травяная) и жабы в рационе питания преобладают наземные виды насекомых и других беспозвоночных. Полученные данные свидетельствуют, что ртуть в организм исследованных видов амфибий поступает преимущественно с водными объектами питания. Ранее этот факт описан американскими учеными [Bank et al., 2007], которые проанализировали содержание ртути в головастиках 3-х видов амфибий из национального парка Акадия, предположительно загрязненного в 1947 г. ртутью в результате пожара. Они установили, что средняя концентрация металла у головастиков лягушки-быка составляла 0.0191 ± 0.0074 мг/кг сырой массы, головастика зеленой лягушки – 0.0253 ± 0.0015 , двулинейной саламандры – 0.0661 ± 0.0034 . Различия объяснили тем, что головастики указанных видов лягушек питаются водорослями, а головастики саламандры – мелкими водными беспозвоночными [Bank et al., 2007]. Помимо алиментарного поступления ртути в организм амфибий, теоретически возможно проникновение металла через кожные покровы, которые соприкасаются с водой и могут адсорбировать из нее различные соединения. Однако ртути в коже всех исследованных животных оказалось менее всего. Ее содержание у тритона (0.023 мг/кг) и лягушек (0.023 – среднее по всем 3 видам) одинаково, в коже жабы – достоверно ниже (0.007) (табл. 3). Особенности отличий в распределении ртути по органам между хвостатыми и бесхвостыми амфибиями в том, что у тритона в кожных покровах количество металла близко к таковому в почках и печени, а у бесхвостых – в 2–10 раз меньше по сравнению с другими органами.

Среди бесхвостых амфибий различия по накоплению ртути в коже жабы и двух видов зеленых лягушек выражены более отчетливо, чем в коже жабы и травяной лягушки (табл. 3). Жаба – наиболее сухопутная амфибия, реже всех соприкасается с водой и донными осадками, которые составляют, по мнению некоторых исследователей, основное хранилище ртути в пресноводных водоемах – от 20 до 100 нг/г [Li et al., 2010], превосходя в этом воздушную и наземную среду. Обе зеленые лягушки – озер-

ная и прудовая – обитают только вблизи водоема, не покидают его берегов и вынуждены многократно в течение дня погружаться в воду, чтобы кожа, как губка, впитывала в себя новую порцию воды, необходимую для нормальной жизнедеятельности. В отличие от них травяная лягушка обитает порой за несколько километров от водоема и пополняет запасы воды в организме подобно жабе, используя дожди, лужи или обильные росы.

Соотношение количества ртути в органах с наибольшими и наименьшими концентрациями (печень / кожа) самое высокое у жабы – около 10. У лягушек оно ниже: озерной – 3.7, прудовой – 2.5, травяной – около 3. Различия в распределении ртути по другим органам не столь велики. Концентрация металла в печени – наиболее выраженный и потому предпочтительный индикатор ртутного загрязнения при проведении мониторинга среды с использованием земноводных, хотя и выявление ртути в других органах также может оказаться полезным для подобных целей.

Место обитания животных оказывает влияние на количество аккумулированной ими ртути. Земноводные – не исключение, что подтверждают наши исследования, выполненные на травяной лягушке, собранной в 6 районах Вологодской области (рис. 2). Для особей из популяций, обитающих в северо-западных районах области (богатых крупными озерами и заболоченными территориями), отмечены высокие концентрации ртути в органах, особенно – печени: в Вытегорском районе – 0.10, Вашкинском – 0.082, Вожегодском – 0.083 мг/кг. Аналогичные показатели были ниже у особей из популяций, населяющих районы Великоустюгский – 0.017 (восток области) и Тотемский – 0.031 мг/кг (центральная часть области), которые лишены крупных озер. По содержанию ртути в печени травяной лягушки близок к ним Кадуйский район – 0.024 мг/кг. Выявлена достоверная положительная корреляция между концентрацией ртути в печени и мышцах травяной лягушки и озерностью территории обитания, а также среднегодовым количеством выпадающих там осадков. В печени травяной лягушки, отловленной в Ярославской области в окрестностях Борка, расположенного на берегу Рыбинского водохранилища и окруженного густой сетью каналов, речек, прудов, зафиксировано 0.073 мг/кг сырой массы ртути. Эта величина близка к значениям, ранее обнаруженным у амфибий, живущих в озерном крае Вологодской области, и много больше та-

ковых, обнаруженных у лягушек из относительно безводных районов области.

Ранее было показано, что в органах травяной лягушки (печень, почки, мышцы, легкие и икра), отловленной в Финляндии в относительно чистой зоне (южная часть, с. Тулос), среднее содержание ртути колебалось в пределах 0.03–0.08, а у лягушек из окрестностей г. Хельсинки и г. Порвоо – 0.03–0.19 мг/кг сырой массы [Terhivuo et al., 1984]. Статистически значимые различия по накоплению металла у амфибий этих двух популяций выявлены только в печени. Наши данные по этому орга-

ну травяной лягушки из семи районов двух вышеуказанных областей центральной России оказались ниже, чем у лягушек из окрестностей г. Хельсинки – 0.19 мг/кг, и сопоставимы с лягушками из экологически чистого Тулоса – 0.08, поскольку лежат в диапазоне 0.017–0.1. Таким образом, обследованный нами регион страны, при использовании в качестве индикатора ртутного загрязнения содержание металла в печени травяной лягушки, в целом выглядит благополучно. Это подтверждают и данные, полученные на других амфибиях.

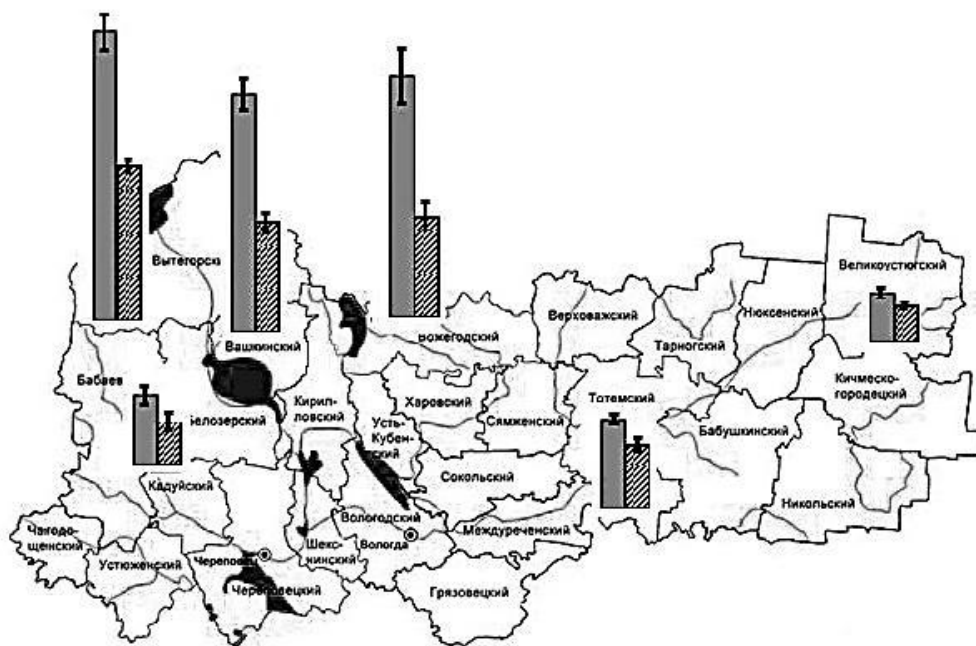


Рис. 2. Содержание ртути в печени (сплошная заливка) и в мышцах (узорная заливка столбца) травяной лягушки из разных районов Вологодской области.

Fig. 2. The mercury content in liver (entire shading) and muscles (patterned shading) of common frog from different regions of Vologda oblast.

В печени серых жаб Вологодской области из промышленно развитого Череповецкого района среднее содержание ртути было выше (0.075 мг/кг), чем у жаб, отловленных в Кирилловском (0.053) и Шекснинском (0.04) районах, удаленных на 50–100 км от заводов г. Череповца.

В вышеупомянутой работе [Terhivuo et al., 1984] приведены минимальные и максимальные уровни ртути, обнаруженные в разных органах серой жабы и травяной лягушки (0.03–0.12 мг/кг), отловленных в лесах Финляндии, не подверженных промышленному воздействию. Указанный для них диапазон выше аналогичного для наших земноводных

того же вида (0.003–0.101 мг/кг) во всех обследованных нами районах.

Различия усугубляются, если сравнивать концентрации ртути в печени жабы (0.067 мг/кг) и травяной лягушки (0.056), обитающих в Вологодской области, со значениями показателя для представителей тех же видов, отловленных в экологически чистых районах Югославии (0.74 и 0.48) [Vugne et al., 1975]. В районе крупного ртутного месторождения Идрии эти значения на порядки больше – 21.75 и 21.05 мг/кг соответственно [Vugne et al., 1975].

Концентрация ртути в печени и почках озерной лягушки из Череповецкого р-на Вологодской обл. (0.100 и 0.079 мг/кг соответ-

ственно) в несколько раз ниже, чем в этих же органах у озерной лягушки из окрестностей центра металлургической и горнодобывающей промышленности Центрального Казахстана – г. Темир-тау (0.38 и 0.21 мг/кг соответственно) [Токтамысова, Маханбетова, 2007 (Toktamyssova, Mahanbetova, 2007)]. То есть, содержание металла в окружающей среде – наиболее важный фактор, определяющий процесс аккумуляции его земноводными.

Пиявки в качестве пищевых объектов по своим размерам доступны всем видам исследованных амфибий, в том числе тритонам, зеленым и бурым лягушкам. Эти черви плотоядны, следовательно, способны аккумулировать и передавать ртуть далее по пищевым цепям.

У пиявок, отловленных в природе и при-

надлежащих к разным отрядам, семействам, родам и видам, зафиксировано различное содержание ртути (табл. 4). В целом можно сказать, что ее значения и различия в некоторой мере определяются видом и местом пиявки в филогенетическом ряду (табл. 4). Более четко это наблюдается при сопоставлении представителей из низких таксонов и менее – высоких. У представителей отряда хоботных (три вида из семейства плоские пиявки) на единицу сырой массы в среднем приходится 0.018 мг/кг, а у бесхоботных пиявок (филогенетически более продвинутый отряд) – больше – 0.043 (среднее значение по трем видам глоточных пиявок) и – 0.049 (среднее значение по органам челюстной пиявки).

Таблица 4. Содержание ртути (мг/кг сырой массы) у разных видов пиявок (расположены сверху вниз в последовательности от филогенетически более древних к более прогрессивным)

Table 4. The mercury content (mg/kg, wet weight) in different species of leeches (species are presented top-down in a sequence from more ancient phylogenetically to more progressive ones)

Вид Species	Hg	Описание пробы Sampe
<i>Hemiclepsis marginata</i>	0.022 ± 0.007 0.012–0.051	Тело каждой особи целиком
<i>Glossiphonia complanata</i>	0.018 ± 0.010 0.001–0.061	Тело каждой особи целиком
<i>Helobdella stagnalis</i>	0.014 ± 0.008 0.000–0.021	Тела от группы особей
<i>Haemopis sanguisuga</i>	0.034 ± 0.017 0.001–0.074	Кожно-мускульный мешок
<i>H. sanguisuga</i>	0.065 ± 0.032 0.008–0.134	Внутренние органы
<i>Erpobdella (Erpobdella) octoculata</i>	0.040 ± 0.001 0.004–0.090	Тело каждой особи целиком (среднее по пиявкам из 3 разных прудов)
<i>E. (E.) testasea</i>	0.048 ± 0.0196 0.011–0.099	Тело каждой особи целиком
<i>E. (Dina) lineata</i>	0.031 ± 0.078 0.020–0.060	Тело каждой особи целиком

Авторы далеки от утверждения, что уровень эволюционного развития пиявок влияет на аккумуляцию ими ртути. Несомненно, этот процесс сильнейшим образом зависит от экзогенных и многих эндогенных (эколого-биологических и физиологических особенностей исследуемого организма) факторов. Это было продемонстрировано выше на примере амфибий, и как нам видится, справедливо для представителей класса пиявки.

Внутри семейства плоских пиявок средние видовые значения концентраций ртути у представителей родов *Hemiclepsis*, *Glossiphonia* и *Helobdella* различаются, хотя и не статистически значимо. Так кровососущая пиявка *Hemiclepsis marginata* находится на самой

вершине пищевой пирамиды, что отличает ее от двух других плоских пиявок и, возможно, это определяет более высокий уровень накопления ею металла по сравнению с ними. Хозяевами *H. marginata* наряду с карасями являются хищные виды – щука и зеленые лягушки – животные, концентрация ртути в органах и тканях которых выше, чем в поедаемых ими жертвах. Но в теле *H. marginata*, ртути на единицу массы оказалось меньше, чем в организмах, на которых она паразитирует, возможно, по ряду причин. Накопление ртути длится всю жизнь, а ее продолжительность у данной пиявки редко составляет более 2-х лет, рыбы и амфибии живут в несколько раз дольше. Кровь позвоночных содержит гораздо меньше ртути,

чем их мышцы или другие органы. Кроме того, *H. marginata* после 4–5 кормлений достигает половозрелости и в последующие 1.5–2 месяца не питается, неподвижно сидит в укромном месте 10–14 дней, пока формируются яйца и еще 2–3 недели “насиживает” их после откладки на субстрат.

Наименьшее количество ртути (0.014 мг/кг) среди плоских пиявок обнаружено у *Helobdella stagnalis*. Возможно, сказывается короткая продолжительность жизни – около 6 месяцев и 1–2 репродуктивных цикла. При этом материнская особь носит вылупившуюся из яиц и прикрепившуюся к ней молодь на своем брюшке, и определенное время кормит ее секретом своих желез, следовательно, ртуть может частично выводиться с продуктами вскармливания потомства.

Glossiphonia complanata живет более двух лет, приступает к размножению обычно на 2-м году жизни и занимает промежуточное положение по накоплению ртути среди плоских пиявок.

Глоточные пиявки, отловленные в четырех прудах вблизи п. Борок, принадлежат к 3-м видам подродов *Erpobdella* и *Dina*. В отличие от плоских пиявок все они очень активные, подвижные и прожорливые хищники, питание которых в теплый период года не прекращается ни на один день. У них отсутствуют длительные периоды голодания, вызванные заботой о потомстве, как у плоских пиявок. Глоточные пиявки откладывают единичные коконы (в среднем с семью яйцами в них). *E. (E.) octoculata* и *E. (E.) testasea* относятся к видам с широким кормовым спектром: в различных по типу водоемах у п. Борок В.П. Луферовым установлено 27 видов животных, поедаемых этими червями [Луферов, 1963 (Lufarov, 1963)]. Среднее содержание ртути у всех видов глоточных пиявок оказалось выше, чем у плоских пиявок, что относится и к виду *E. (D.) lineata*. Данный вид – южный вселенец, обитает в пересыхающем пруду с относительно бедным населением макрозообентоса. Особи *E. (D.) lineata* по своей природе или в наших широтах и условиях мельче представителей подсем. *Erpobdella* (*Erpobdella*). На момент вылова они оказались ювенильными, в то время как черви подсем. *Erpobdella* либо уже достигли половозрелости, либо были к ней близки. Пищевой спектр сравниваемых видов пиявок различен. Глоточные пиявки всеядны. Пруды и канал богаче представлены долгоживущими беспозвоночными, чем пересыхаю-

щий пруд, в котором преобладают короткоживущие виды, в основном личинки разных комаров. Вероятно, поэтому объекты питания *E. (D.) lineata* из пруда в отличие от таковых, поедаемых глоточными пиявками в других водоемах накапливали ртуть менее интенсивно. Не исключено, что особи *E. (D.) lineata* существовали в пруду в полуголодном состоянии.

Внутри отряда бесхоботных в телах представителей более молодого семейства глоточных зарегистрированы более высокие концентрации ртути, чем в мышечной пробе большой ложноконской пиявки *Haemopsis sanguisuga* из сем. челюстных. В организме последней содержание ртути во внутренних органах (ботрионидная ткань пиявки выполняет функцию печени) сопоставимо и даже превосходит уровень ртути в печени некоторых земноводных.

Масса пиявки определяется в основном массой ее кожно-мускульного мешка и в меньшей мере – массой внутренних органов. Самый низкий уровень накопления ртути у червей, обнаруженный в теле плоских пиявок, чуть превышает таковой в мышцах тритона и его кишечнике, хотя и не достигает значений показателя в печени. В целом концентрации, характеризующие процесс накопления ртути разными видами пиявок, находятся в тех же пределах, что и у земноводных – в органах (печень, иногда почки), доминирующих по скорости аккумуляции и относительному (на единицу массы) содержанию металла (за редким исключением). Авторы предполагали, что ртути в земноводных окажется гораздо больше, чем в беспозвоночных, в частности пиявках, хотя бы в связи с различиями в продолжительности жизни. Выявленная незначительность отличий, возможно, связана с особенностями сред обитания и образом жизни изучаемых групп. Рацион земноводных характеризуется порой значительным присутствием в нем наземных объектов питания, а у водных червей он состоит исключительно из гидробионтов. Скорость обмена веществ у исследованных групп животных также различна. На переваривание пищевых объектов у амфибий уходит несколько дней, 7 суток при температуре 15°C [Сергеев, 2012 (Sergeev, 2012)]. Пиявки относятся к прожорливым животным, в лабораторных условиях представители бесхоботных (челюстная и глоточная пиявки) едят ежедневно, и можно видеть через просвечивающие покровы, как по утрам их желудочно-кишечный тракт заполняется едой, а спустя 3–5 часов он абсолютно пуст.

Экспериментально выявленное накопление ртути, поступающей в организм головастика и пиявок с пищей. Последствия кормления животных природным кормом с разным содержанием в нем ртути отразились на процессе ее накопления, скорости метаморфоза личинок жабы и вызвали модификацию поведения у головастика лягушки и пиявок.

Количество накопленной ртути контрольными и опытными головастиками к моменту достижения ими стадии “появление задних лапок”, существенно различалось (табл. 5). В телах контрольных головастика концентрации металла колебались вблизи значения 0.07 мг/кг на протяжении всего эксперимента. Незначительное накопление ртути, возможно, нивелировалось увеличением массы особей по мере роста. У головастика из опыта происхо-

дило быстрое накопление ртути, и за период наблюдения ее содержание увеличилось более чем в три раза. К окончанию опыта концентрация ртути у опытных головастика (0.6 мг/кг) была выше, чем в контроле (0.069) почти в 10 раз (табл. 5). Ежедневное число головастика, достигших стадии метаморфоза “появление задних конечностей”, в контроле было меньше, чем в опыте (табл. 5). На пятый день наблюдения указанной стадии развития в опытной группе достигло 35% особей, а в контрольной – только 12%; на 10-й день – 53 и 22, на 15-й день – 88 и 39 соответственно (рис. 3).

В контрольном варианте особи с задними конечностями появлялись в случайной последовательности, и лишь после 14 суток эксперимента процесс приобретал экспоненциальный характер (рис. 4).

Таблица 5. Влияние корма с разным содержанием ртути на ее накопление головастиками и скорость их развития в эксперименте

Table 5. Mercury accumulation (mg/kg wet weight) by tadpoles in the experiment upon feeding on food items with different Hg content and the effect of feeding on the rate of their development, i.e. appearance of posterior extremities

Сутки Day	Среднее содержание ртути у головастика с задними конечностями, мг /кг сырой массы The average concentrations of mercury in tadpoles with posterior extremities, mg /kg wet weight		Количество особей с задними конечностями Appearance of posterior extremities	
	Контроль, корм 1 Control, food 1	Опыт, корм 2 Experiment, food 2	Контроль, корм 1 Control, food 1	Опыт, корм 2 Experiment, food 2
1		0.197	0	4
2	0.069	0.331	4	36
3	0.068	0.352	20	22
4	0.073	0.422	4	8
5	0.068	0.379	10	20
6	0.067	0.407	8	27
7	0.070	0.442	10	24
8	0.067	0.459	4	6
9	0.070	0.472	8	12
10	0.069	0.514	18	30
11	0.068	0.511	2	6
12	0.068	0.530	2	30
13	0.070	0.599	18	12
14	0.070	0.588	18	10
15	0.069	0.530	48	4
16	0.069	0.599	100	16

Примечание: контроль, корм 1 – 0.02 мг/кг; опыт, корм 2 – 0.07–0.11 мг/кг.

Известно, что на скорость метаморфоза амфибий в первую очередь влияют температура и химический состав окружающей среды [Лобачев, 2008 (Lobachev, 2008)]. Ртуть, присутствующая в корме, – неотъемлемая часть водной экосистемы, и ее влияние на развитие головастика подтверждено статистически: число особей с задними конечностями положительно коррелировало с накоплением ртути в

их телах (коэффициент корреляции $s = 0.96$, $p \ll 0.001$; коэффициент детерминации линейной модели $R^2 = 0.91$, условия линейной регрессии выполняются). Скорость метаморфоза у головастика, питавшихся кормом с повышенным содержанием ртути, линейно зависела от ее накопления в организме (рис. 4). Оно происходило также почти линейно со средней скоростью 0.027 мг/кг в сутки.

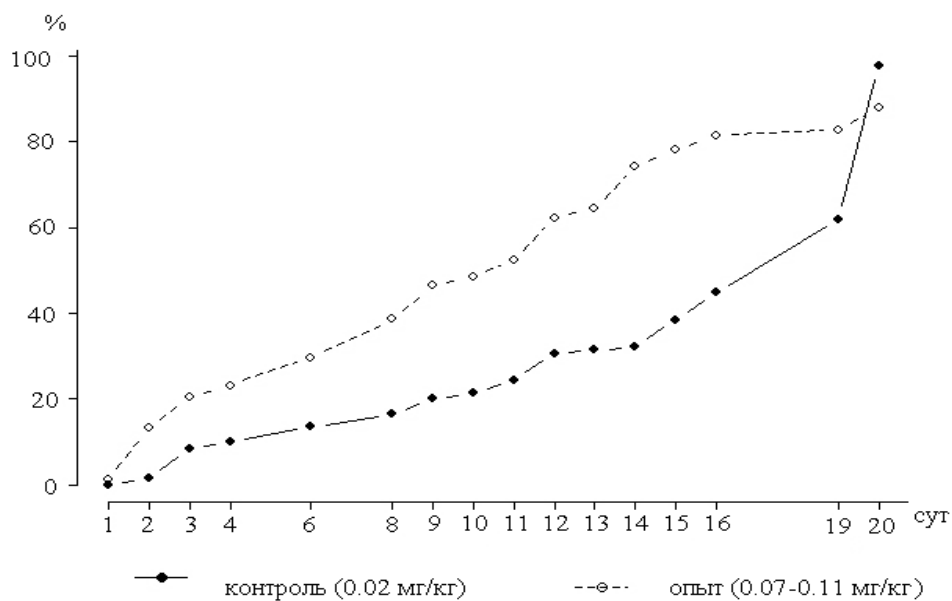


Рис. 3. Доля личинок жабы, достигших стадии метаморфоза “головастики с задними конечностями” (%), при кормлении фаршем с разным содержанием ртути (контроль – 0.02 мг/кг – сплошная линия; опыт – 0.07–0.11 мг/кг – пунктирная линия).

Fig. 3. Percent of toad larvae at the stage of metamorphosis, tadpoles with posterior extremities, upon their feeding on food items with different Hg content (control – 0.02 mg/kg is marked by a solid line; experiment – 0.07–0.11 mg/kg is marked by a dashed line).

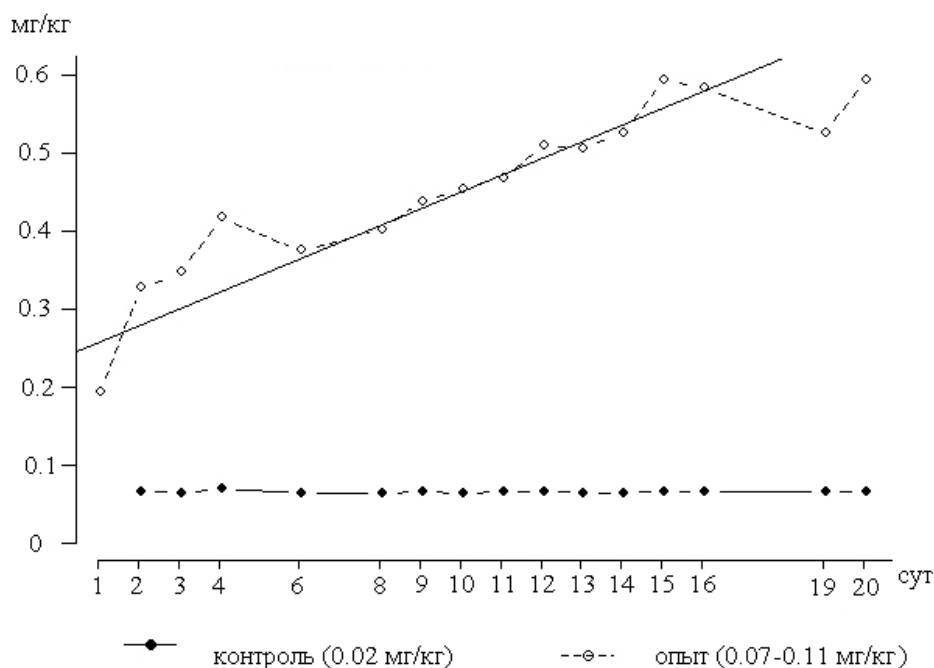


Рис. 4. Динамика накопления ртути (мг/кг сырой массы) головастиками серой жабы, получавшими корм с разным ее содержанием (контроль – 0.02 мг/кг; опыт – 0.07–0.11 мг/кг, рядом показана линия тренда линейной регрессии).

Fig. 4. Dynamics of mercury accumulation (mg/kg, wet weight) by tadpoles of common toad upon feeding on food items with different Hg content (control – 0.02 mg/kg; experiment – 0.07–0.11 mg/kg; the line of the trend of linear regression is presented nearby. Determinations were made only in tadpoles which reached the stage of appearance of posterior extremities).

Стимуляция развития головастика жабы в опыте может быть связана с неспецифической реакцией организма на токсический фактор незначительной силы, т.е. ее можно объяснить, исходя из понятия общего адаптационного синдрома Селье [Селье, 1960 (Selye, 1960)]. Согласно ему, ответная реакция организма на любой стресс, в том числе химический, включает три фазы: “тревоги”, когда происходит мобилизация и стимуляция всех ресурсов для противостояния угрожающему фактору, “сопротивления” – организм борется с негативным воздействием и последняя фаза – “утомление или истощение”. Она наступает,

если организм в борьбе истощил свои физиологические ресурсы, не сумев преодолеть стресс [Селье, 1960 (Selye, 1960)]. При использовании корма с повышенным содержанием ртути и продолжительности его потребления около трех недель, состояние опытных головастика не выходит за пределы первой и второй фаз, характеризующихся стимуляцией и подъемом всех сил организма на преодоление негативных последствий от поступления в него ртути. Закончив раньше метаморфоз, в природе молодые жабы смогли бы раньше покинуть загрязненный ртутью водоем, чем их сверстники, развивающиеся в чистой воде.

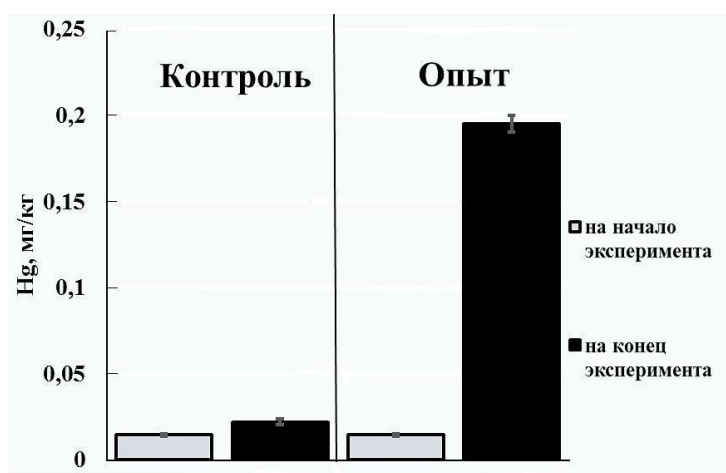


Рис. 5. Накопление ртути головастиками прудовой лягушки при кормлении рыбным фаршем с разным содержанием металла в течение 17 дней.

Fig. 5. Mercury accumulation by tadpoles of pool frog upon feeding on minced fish with different Hg content during 17 days.

Близкие значения содержания ртути (0.02–0.20 мг/кг) обнаружены у экспериментальных головастика прудовой лягушки. Концентрации ртути в день их вылова из пруда и спустя 17 дней на стадии развития – “лягушонок с остатками хвоста” (непосредственно перед тестом «хищник – жертва»), статистически достоверно различались (рис. 5).

Количество ртути в контрольных особях (0.02 мг/кг) было в 10 раз меньше, чем в опытных (0.2), что, по-видимому, и определило результат опыта “хищник – жертва”. В присутствии хищной пиявки им удавалось более ловко увертываться от нее – зарегистрировано лишь два контакта с хищницей (по одному в двух повторностях); у опытных – 12 контактов в 7 повторностях. Различие в показателе оборонительно-пищевого поведения у головастика из контрольной и опытной групп статистически достоверно (критерий Краскела–Уоллиса: $\chi^2 = 5.89$, $p = 0.015$, пермутационный аналог

ANOVA: $n = 999$, $F = 8.04$, $p = 0.029$).

Аналогичный результат был получен авторами [Лапкина и др., 2002 (Lapkina et al., 2002)] ранее: интактные особи челюстной пиявки *Haemopis sanguisuga* быстро ловили и поедали опытных головастика лягушки и менее удачливы были при охоте за интактными особями. Это может косвенно указывать на то, что аккумулированная головастиками жабы и лягушки ртуть, достаточно быстро начинает проявлять в организме свои нейротоксические свойства. Снижение способности жертв под действием ртути успешно избегать охотника, повышало скорость их выедания и способствовало циркуляции металла в водоеме. В свою очередь хищник, поедающий в первую очередь ослабленные организмы, сам накапливал ртуть, постепенно утрачивая свои охотничьи навыки, что, видимо, позволяло системе хищник-жертва оставаться в равновесии.

Пиявок, как и головастиков земноводных, в эксперименте кормили рыбным фаршем с малым (1) и большим (2) содержанием ртути. Во всех четырех группах пиявки активно накапливали ртуть, поступающую с кормом 2 и, в меньшей мере, – с кормом 1 (табл. 6), в отличие от головастиков жабы и прудовой лягушки, у которых в контроле заметного увеличения содержания ртути не отмечали.

Относительная скорость аккумуляции ртути у пиявок в опыте (корм 2) была значительно выше, чем у головастиков при потреб-

лении ими корма с таким же содержанием металла. Например, количество ртути, обнаруженное у головастиков жабы после 15-ти суточного пребывания в опыте, достигло значения 0.6 мг/кг сырой массы, против начального 0.4 (табл. 5), т.е. выросло до 150%. У четырех групп глоточных пиявок перерасчет средних значений (месячных и 2-х месячных) на те же 15 суток дал диапазон увеличения ртути в опыте по отношению к начальному уровню 160–290%, что в среднем по всем 4 группам составило 232%.

Таблица 6. Накопление ртути глоточными пиявками в эксперименте, при кормлении фаршем с разным содержанием металла (контроль, корм 1 – 0.02 мг/кг; опыт, корм 2 – 0.07–0.11 мг/кг)

Table 6. Mercury accumulation (mg/kg, wet weight) by pharyngeal leeches in the experiment upon feeding on food items with different Hg content (food 1 – 0.02 mg/kg – control; food 2 – 0.07–0.11 mg/kg – experiment)

Вид пиявок, группа Species, group	Среднее содержание Hg в пиявках, мг/кг сырой массы The average concentration of Hg in the leeches, mg/kg wet weight					Продолжительность опыта Duration experience
	Начальное (с) The initial (c)	После корма 1 (c ₁) After feeding 1 (c ₁)	c ₁ / c	После корма 2 (c ₂) After feed 2 (c ₂)	c ₂ / c	
<i>Erpobdella</i> (<i>E.</i>) <i>octoculata</i> , группа I	0.039	<u>0.128±0.01</u> 0.070–0.220	3.3	<u>0.377±0.050</u> 0.137–1.260	9.8	2 месяца
<i>E.</i> (<i>E.</i>) <i>octoculata</i> , группа II	0.054	<u>0.123±0.04</u> 0.080–0.160	2.2	<u>0.366±0.014</u> 0.280–0.470	6.7	2 месяца
<i>E.</i> (<i>E.</i>) <i>octoculata</i> , группа III	0.041	<u>0.062±0.005</u> 0.040–0.090	1.5	<u>0.238±0.009</u> 0.174–0.280	5.8	1 месяц
<i>E.</i> (<i>D.</i>) <i>lineata</i> , группа IV	0.031	<u>0.111±0.004</u> 0.080–0.150	3.6	<u>0.346±0.018</u> 0.221–0.495	11.0	2 месяца

Примечание. В таблице над чертой – средние значения и их ошибки ($x \pm tx$), под чертой минимальное и максимальное значение показателя.

Таблица 7. Оценка влияния повышенного содержания ртути на проявление положительного тигмотаксиса по критерию Краскела-Уоллиса

Table 7. Assessment of the effect of high mercury content on manifestation of positive thigmotaxis using the Kruskal-Wallis H test. Statistically significant values are in bold type

№	Вид	Место отбора проб	n	χ^2	p
I	<i>E. octoculata</i>	Борок, Ярославская область	18	2.65	0.100
II	<i>E. octoculata</i>	Большое Дьяконово	19	5.13	0.024
III	<i>E. octoculata</i>	Малое Дьяконово	12	0.36	0.540
IV	<i>E. (D) lineata</i>	Борок, Ярославская область	20	8.26	0.004
V	<i>E. (D) lineata</i>	Вологодская область, Никольский р-он	18	5.46	0.020

Примечание: выделены статистически значимые различия.

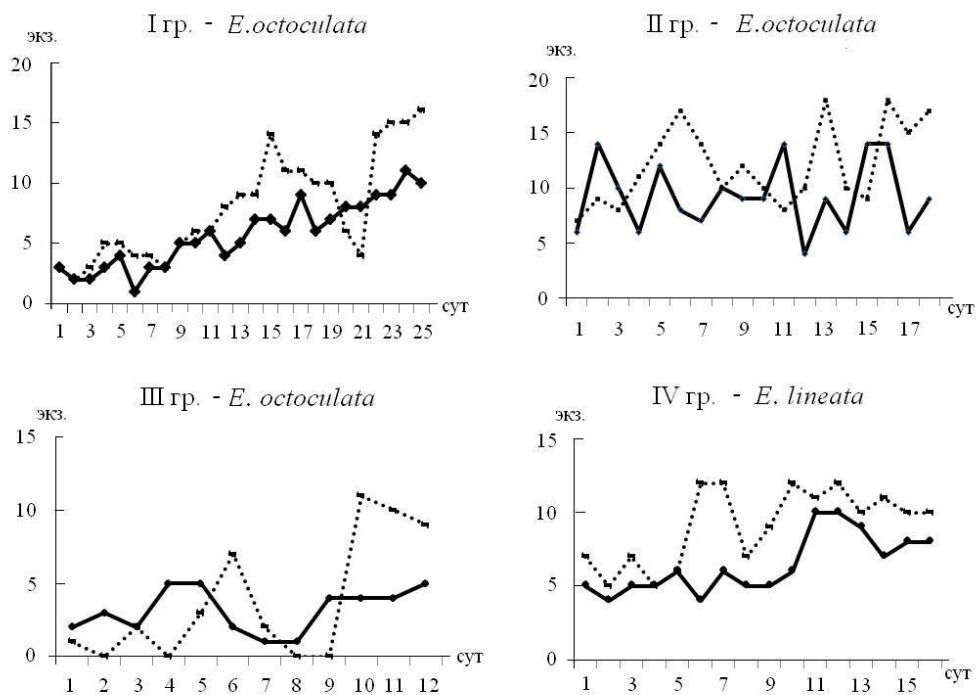


Рис. 6. Влияние концентрации ртути, присутствующей в корме, на количество пиявок, проявляющих положительный тигмотаксис. Сплошная линия – 0.02 мг/кг – контроль; пунктирная линия – 0.07–0.11 мг/кг корма – опыт.

Fig. 6. The effect of mercury concentration in the food on the number of leeches demonstrating positive thigmotaxis.; Control, 0.02 mg/kg, is denoted by a solid line; experiment, 0.07–0.11 mg/kg is denoted by a dashed line

В лабораторном эксперименте, при соблюдении одинаковых внешних условий, в том числе температурных и пищевых, у глоточных пиявок двух подсемейств зафиксирована различная скорость накопления ртути. Более быстрыми темпами (с превышением начального уровня в 11 раз) росло ее количество в телах *Erpobdella (D.) lineata*. Возможная причина в том, что выловленные пиявки оказались ювенильными и даже к концу опыта не достигли половозрелости. Известно, чем моложе особь пиявки, тем большее количество корма потребляет она на единицу своей массы [Монаков, 1998 (Monakov, 1998)]. К тому же особи *E. (E.) octoculata* в сумме по трем контрольным вариантам отложили 55 коконов, в трех опытных – 45 коконов, то есть часть червей была половозрелой, и, возможно, ртуть частично была ими выведена с коконами.

В целом, эксперимент с пиявками подтвердил: количество накопленной ими ртути, как и у головастиков, коррелировал с концентрацией ее в корме, а также с продолжительностью опыта. То есть прослеживались дозо- и времязависимые эффекты накопления алимен-

тарно поступающей в организм экспериментальных животных ртути.

По нашим наблюдениям тигмотаксис (тяготение к ориентации по тактильным раздражениям) преобладал над другими формами таксисов (фото-, рео-, хемо- и т.д.). Данный таксис имеет знак плюс, если пиявка нуждается в отдыхе и укрытии. Утоление голода, охота, поиск полового партнера, места для откладывания коконов – эти потребности для реализации требуют отрицательного тигмотаксиса.

Экспериментальные особи *E. (E.) octoculata* были половозрелыми, спаривались, откладывали коконы, частично уничтожали их, разрушали оболочку и выедали содержимое – проявляли каннибализм, т.е. вели в условиях лаборатории активную жизнь (рис. 6). В начале эксперимента лишь малая часть особей, контрольных и опытных, проявляла положительный тигмотаксис, но с каждым последующим днем у тех и других число особей, предпочитающих покой и отдых, увеличивалось, причем в опыте быстрее, чем в контроле (рис. 6). Прямо или опосредовано присутствие ртути в организме усиливало стремление пиявок забраться

под предметное стекло в позицию наибольшего соприкосновения бокаловидных органов (чувствительных структур, расположенных на ее теле метамерно, поперечными рядами) с субстратом. Статистически значимые различия в поведении пиявок в контроле и эксперименте с повышенным содержанием ртути в пище наблюдаются в трех опытах из пяти.

Агрегация пиявок под стеклом в опыте иногда была настолько велика, что с субстратом соприкасались не только рецепторы брюшка, спины, но и боковых поверхностей –

черви вплотную прилегли друг к другу. Ранее в других токсикологических экспериментах многократно наблюдали, как хроническая интоксикация способствовала агрегации пиявок – они собирались в клубок. Подобное происходило и под действием других неблагоприятных факторов – голода, низких температур.

Таким образом, неспецифическое усиление положительного тигмотаксиса можно расценивать как модификацию поведения пиявок под влиянием такого негативного фактора, как накопление в их организме ртути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание ртути в различных органах амфибий и телах пиявок, отловленных в водоемах Вологодской и Ярославской областей, варьировало в широком интервале концентраций (0.004–0.101 мг/кг сырой массы). Как правило, оно было ниже значений показателя, ранее выявленных авторами при исследовании рыб и теплокровных позвоночных, обитающих в тех же регионах. В каждом из классов наблюдали следующую тенденцию – у более высокоорганизованных и филогенетически более молодых видов концентрации ртути в органах или телах были выше, чем у низкоорганизованных и филогенетически более древних.

При неравномерном распределении ртути по органам амфибий, наиболее высокие ее концентрации у всех исследованных животных были отмечены в печени. Различия в уровнях накопления ртути разными органами земноводных могли определяться популяционными

различиями, если представители вида обитали в разных по экологическому статусу районах, или – в разных средах (водной, наземной). Чем больше гидробионтов присутствовало в пищевом рационе амфибий, тем интенсивнее они накапливали ртуть.

В эксперименте, вне зависимости от видовой принадлежности животных (головастики жабы и прудовой лягушки, пиявки сем. *Erpobdellidae* (*E. (E) octoculata* и *E. (D) lineata*)), содержание ртути в телах всегда коррелировало с концентрацией металла в корме. Выявлены дозо- и времязависимый эффекты накопления ртути в организме животных, а также некоторые биологические последствия, вызванные этим процессом – увеличение скорости метаморфоза личинок жабы, модификация поведения головастиков прудовой лягушки и пиявок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьева Н.Б., Боркин Л.Я., Даревский И.С., Орлов Н.Л. Энциклопедия природы России: земноводные и пресмыкающиеся. Москва: АБФ, 1998. 596 с.
- Вершинин В.Л. Видовой комплекс амфибий в экосистемах крупного города // Экология. 1995. № 4. С. 299–306.
- Габайдуллин А.Г., Ильина Е.М., Рыжов В.В., Хамитова Р.Я. Охрана окружающей среды от ртутного загрязнения. Казань: Магариф, 1999. 95 с.
- Дунаев Е.А. Разнообразие земноводных (по материалам экспозиции Зоологического музея МГУ). М.: Изд-во МГУ, 1999. 304 с.
- Дунаев Е.А., Орлова В.Ф. Земноводные и пресмыкающиеся России. Атлас-определитель. М.: Фитон+, 2012. 320 с.
- Казначеев С.В., Дарянин В.Д. Воздействие ртути и ее соединений на организм человека в экологических ситуациях // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах: Аналитический обзор. Ч. II: Процессы биоаккумуляции и экотоксикологии. Новосибирск: ГПНТБ СО АН СССР, 1989. С. 122–146.
- Комов В.Т., Степина Е.С., Гремячих В.А., Поддубная Н.Я., Борисов М.Я. Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куных (*Mustelidae*) Вологодской области // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 385–393.
- Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. 2-е изд. М.: Т-во научн. изд. КМК, 2012. 370 с.
- Кузьмин С.Л., Сурова Г.С. Обеспеченность травяной лягушки (*Rana temporaria*) пищей в разных географических популяциях // Экология. 1994. № 4. С. 59–66.
- Лапкина Л.Н., Комов В.Т., Степанова И.К. Влияние алиментарно поступающей ртути на результативность реакций у хищника и жертвы // Современные проблемы водной токсикологии: сб. тез. докл. I Всероссийской конференции. Борок, 2002. С. 48–49.

- Лобачев Е.А. Влияние колебаний экологических факторов на эмбрионально-личиночное развитие земноводных. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Саранск, 2008. 23 с.
- Лукин Е.И. Фауна СССР. Пиявки. Л.: Наука, 1976. 484 с.
- Лукин Е.И. Пиявки // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: ЗИН АН СССР, 1977. 510 с.
- Луферов В.П. Наблюдения по биологии пиявок рода *Herpobdella* // Материалы по биологии и гидрологии волжских водохр. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 61–65.
- Моткова М.Ю., Гаранин В.И. Роль личинок бесхвостых амфибий в трофических цепях пресных водоемов // Экология урбанизированных территорий. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1987. С. 33–42.
- Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: ИПЭЭ РАН, 1998. 320 с.
- Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Комов В.Т. Ртуть в рыбах // Биосфера. 2014. Т. 6. № 2. С. 176–186.
- Писанец Е.М. Амфибии Украины // Справочник-определитель земноводных Украины. Киев: Зоол. музей ННПМ НАН Украины, 2007. 312 с.
- Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медгиз, 1960. 254 с.
- Сергеев Б.Ф. Мир амфибий. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2012. 192 с.
- Токтамысова З.С., Маханбетова Г.М. Озерная и остромордая лягушки на дестабилизированных территориях Центрального Казахстана // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах: сб. материалов IV Междунар. конф. Днепропетровск: ДНУ, 2007. С. 403–404.
- Файзулин А.И. Анализ разнообразия морфологических аномалий как критерий оценки состояния популяции озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) в Самарской области // Популяции в пространстве и времени: сб. материалов VIII Всерос. популяционного семинара. Н. Новгород, 2005. С. 433–434.
- Файзулин А.И. О морфологических аномалиях бесхвостых земноводных (Anura, Amphibia) Волжского бассейна // Праці Укр. Герпетол. Товариства. 2011. № 3. С. 201–207.
- Файзулин А.И. Встречаемость и разнообразие морфологических аномалий популяций озерной лягушки (Anura, Amphibia) Среднего Поволжья // Изв. Самар. НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 5. С. 150–159.
- Файзулин А.И., Чихляев И.В. Морфологические аномалии бесхвостых земноводных (Anura, Amphibia) Среднего Поволжья // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: сб. научн. тр. Вып. 9. Тольятти, 2006. С. 178–182.
- Файзулин А.И., Чихляев И.В., Кузовенко А.Е. Амфибии Самарской области. Тольятти: Кассандра, 2006. 140 с.
- Banks M.S., Crocker J., Connery B., Amirbahman A. Mercury bioaccumulation green frog (*Rana clamitans*) and gulf frog (*Rana catesbeiana*) tadpoles from Acadia National Park, Maine, USA. 2007 // Environ. Toxicol. Chem. 2013. V. 26. P. 118–125.
- Bloom N. S. On the chemical form of mercury in edible fish and marine in-vertebrate tissue // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1992. V. 49. P. 1010–1017.
- Byrne A.R., Kosta L., Stegnar P. The occurrence of mercury in amphibian // Environ. Lett, 1975. V. 8. P. 147–155.
- Ellis D. Environments at risk. Case histories of impact assessment. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 329 p.
- Freedman B. Environmental ecology. San Diego: Academic Press Inc., 1989. 424 p.
- Kruskal W. H., Wallis W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // J. Amer. Statistic. Ass. 1952. V. 47. № 260. P. 583–621.
- Li Y.H., Sohrin Y., Takamatsu T. Lake Biwa and the ocean: geochemical similarity and difference // Limnology. 2010. V. 12. № 1. P. 89–101.
- Scheuhammer A.M., Meyer M.W., Sandheinrich M.B., Murray M.W. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish // Ambio. 2007. V. 36. № 1. P. 12–18.
- Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // Biometrika. 1965. V. 52. № 3–4. P. 591–611.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry. The principals and practice of Statistics in biological research. N.Y.: W.H. Freeman and Company, 1995. 887 p.
- Stepanova I.K., Komov V.T. Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast // Russ. J. Ecol. 1997. V. 28. № 4. С. 260–264.
- Terhivuo J., Lodenium M., Nuorteva P., Tulisalo E. Mercury content of common frogs (*Rana temporaria* L.) and common toads (*Bufo bufo* L.) collected in southern Finland // Ann. Zool. Fennici. 1984. V. 21. P. 41–44.

REFERENCES

- Ananeva N.B., Borkin L.Y., Darevskiy I.S., Orlov N.L. 1998. Zemnovodnye i presmykayushchiesya: enciklopediya prirody Rossii [Encyclopedia of the nature of Russia: amphibians and reptiles]. M.: ABF. S. 19–174. [In Russian].
- Banks M.S, Crocker J., Connery B., Amirbahman A. 2013. Mercury bioaccumulation green frog (*Rana clamitans*) and gulf frog (*Rana catesbeiana*) tadpoles from Acadia National Park, Maine, USA. 2007 // Environ. Toxicol. and Chem. V. 26. P. 118–125.

- Bloom N.S. 1992. On the chemical form of mercury in edible fish and marine in-vertebrate tissue // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 49. P. 1010–1017.
- Byrne A.R., Kosta L., Stegnar P. 1975. The occurrence of mercury in amphibian // *Environ. Lett.* V. 8. P. 147–155.
- Dunaev E.A. 1999. Raznoobrazie zemnovodnykh po materialam ehkspozitsii Zoologicheskogo muzeya MGU [The diversity of amphibians (based on the materials of the exposition of the Zoological Museum of Moscow State University)]. M.: Izd-vo MGU. 304 s. [In Russian]
- Dunaev E.A., Orlova V.F. 2012. Zemnovodnye i presmykayushchiesya Rossii: Atlas opredelitel [Amphibians and reptiles of Russia. Definitive Atlas]. M.: Fiton. 320 s. [In Russian]
- Ellis D. 1989. Environments at risk. Case histories of impact assessment. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag. 329 p.
- Fayzulin A.I. 2005. Analiz raznoobraziya morfologicheskikh anomalii kak kriteriya ocenki sostoyaniya populyatsii ozernoy lyagushki *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura Amphibia) v Samarskoy oblasti // Populyatsii v prostranstve i vremeni: Sb. Mat. VIII Vseros. populyacionnogo seminaru [Analysis of the diversity of morphological anomalies as a criterion for assessing the state of the population of the lake frog *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) in the Samara Region // Population in Space and Time: Sat. Materials VIII Vseros. Population workshop]. N. Novgorod. S. 433–434. [In Russian]
- Fayzulin A.I. 2011. O morfologicheskikh anomaliiakh beskhvostykh zemnovodnykh Anura Amphibia Volzhskogo basseyna [About morphological anomalies of tailless amphibians (Anura, Amphibia) of the Volga Basin] // *Praci. Ukr. Gerpetol. Tovaristva.* № 3. S. 201–207. [In Russian]
- Fayzulin A.I. 2012. Vstrechaemost i raznoobrazie morfologicheskikh anomalii populyatsii ozernoy lyagushki Anura Amphibia Srednego Povolzhya [The occurrence and diversity of morphological anomalies in populations of the lake frog (Anura, Amphibia) of the Middle Volga region] // *Izv. Samar. NC RAN.* T. 14. № 5. S. 150–159. [In Russian]
- Fayzulin A.I., Chikhlyayev I.V. 2006. Morfologicheskie anomalii beskhvostykh zemnovodnykh Anura Amphibia Srednego Povolzhya // Aktualnye problemy gerpektologii i toksikologii [Morphological anomalies of tailless amphibians (Anura, Amphibia) of the Middle Volga region // Actual problems of herpetology and toxicology] Sb. nauchn tr. Vyp. 9. Tolyatti. S. 178–182. [In Russian]
- Fayzulin A.I., Chikhlyayev I.V., Kuzovenko A.E. 2006. Amphibii Samarskoy oblasti [Amphibians of the Samara Region]. Tolyatti. Cassandra. 140 s. [In Russian]
- Freedman B. 1989. Environmental ecology. San Diego: Academic Press Inc. 424 p.
- Gabaydullin A.G., Ilina E.M., Ryzhov V.V., Khamitova R.Y. 1999. Okhrana okruzhayushchey sredy ot rutnogo zagryazneniya [Environmental protection from mercury pollution]. Kazan: Magarif. 95 s. [In Russian]
- Kaznacheev S.V., Daryanin V.D. 1989. Vozdeystvie rtuti i ee soedineniy na organizm cheloveka v ehkologicheskikh situatsiyakh Povedenie rtuti i drugikh tyazhelykh metallov v ehkositemakh. Analiticheskiy obzor [The effect of mercury and its compounds on the human body in environmental situations // Behavior of mercury and other heavy metals in ecosystems: Analytical review. Part II: Bioaccumulation and ecotoxicology processes]. Novosibirsk: GPNTB SO AN SSSR. CH. II. Processy bioakkumulyatsii i ehkotosikologii. S. 122–146. [In Russian]
- Komov V.T., Stepina E.S., Gremyachikh V.A., Poddubnaya N.Y., Borisov M.Y. 2012. Soderzhanie rtuti v organakh mlekopitayushchikh semeystva kunikh (MUSTELIDAE) Vologodskoy oblasti [The content of mercury in the mammalian organs of the family Kunich (Mustelidae) of the Vologda region] // *Povolzhskiy ehkologicheskii zhurnal.* № 4. S. 385–393. [In Russian]
- Kruskal W.H., Wallis W.A. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis // *Journal of the American Statistical Association.* V. 47. № 260. P. 583–621.
- Kuzmin S.L. 2012. Zemnovodnye byvshego SSSR [Amphibious Former USSR]. 2-e izd M. T-vo nauchn Izd. KMK. 370 c. [In Russian]
- Kuzmin S.L., Surova G.S. 1994. Obespechennost travyanoy lyagushki *Rana temporaria* pishchey v raznykh geograficheskikh populyatsiyakh [Provision of herbal frog (*Rana temporaria*) food in different geographical populations] // *Ekologiya.* № 4. S. 59–66. [In Russian]
- Lapkina L.N., Komov V.T., Stepanova I.K. 2002. Vliyanie alimentarno postupayushchey rtuti na rezultativnost reaktsiy u khishchnika i zhertvy Sovremennye problemy vodnoy toksikologii [Influence of alimentary received mercury on the effectiveness of reactions in a predator and prey // Current problems of aquatic toxicology] // *Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii.* Borok. S. 48–49. [In Russian]
- Li Y.H., Sohrin Y., Takamatsu T. 2010. Lake Biwa and the ocean: geochemical similarity and difference // *Limnology.* V. 12, № 1. P. 89–101.
- Lobachev E.A. 2008. Vliyanie kolebaniy ehkologicheskikh faktorov na ehmbriionalno - lichinochnoe razvitiye zemnovodnykh [Influence of fluctuations of ecological factors on embryonic-larval development of amphibians]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Saransk. 23 s. [In Russian]
- Lukin E.I. 1976. Fauna SSSR // Piyavki [Fauna of the USSR. Leeches]. L.: Nauka. 484 s. [In Russian]
- Lukin E.I. 1977. Piyavki. Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR [Leeches // The determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. L.: ZIN AN SSSR. 510 s. [In Russian]
- Lufarov V.P. 1963. Nablyudeniya po biologii piyavok roda *Herpobdella* [Observations on the biology of leeches of the genus *Herpobdella* // Materials on Biology and Hydrol. Volga reservoirs] // *Mater Po biolog i gidrol volzhskikh vodokhr.* M.; L.: Izd-vo AN SSSR. S. 61–65. [In Russian]

- Motkova M.Y., Garanin V.I. 1987. Rol lichinok beskhvostykh amfibiy v troficheskikh cepyakh presnykh vodoemov // Ekologiya urbanizirovannykh territoriy [The role of larvae of tailless amphibians in trophic chains of fresh water bodies // Ecology of urbanized territories]. Kazan: Izd-vo Kazansk un-t. S. 33–42. [In Russian]
- Monakov A.V. 1998. Pitaniye presnovodnykh bespozvonochnykh [Nutrition of freshwater invertebrates]. M. IPEHEH RAN. 320 s. [In Russian]
- Nemova N.N., Lysenko L.A., Meshcheryakova O.V., Komov V.T. 2014. Rtut v rybakh [Mercury in fish] // Biosfera. T. 66. № 2. S. 176–186. [In Russian]
- Pisanec E.M. 2007. Amfibii Ukrainy Spravochnik-opredelitel zemnovodnykh Ukrainy [Amphibian of Ukraine // Guide-determinant of amphibians of Ukraine]. Kiev: Zool Muzey NNPM NAN Ukrainy. 312 s. [In Russian]
- Sele G. 1960. Ocherki ob adaptacionom syndrome [Essays on Adaptation Syndrome]. M.: Medgiz, 254 s. [In Russian].
- Sergeev B.F. 2012. Mir amfibiy [The world of amphibians]. M Knizhnyy dom. LIBROKOM URSS. 192 s. [In Russian]
- Scheuhammer A.M., Meyer M.W., Sandheinrich M.B., Murray M.W. 2007. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish // *Ambio*. V. 36. № 1. P. 12–18.
- Shapiro S.S., Wilk M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples) // *Biometrika*. V. 52. № 3–4. P. 591–611.
- Sokal R.R., Rohlf F.J. 1995. Biometry. The principals and practice of Statistics in biological research. N.Y.: W.H. Freeman and Company. 887 p.
- Stepanova I.K., Komov V.T. 1997. Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast // *Russian Journal of Ecology*. T. 28. № 4. S. 260–264.
- Terhivuo J., Lodenium M., Nuorteva P., Tulisalo E. 1984. Mercury content of common frogs (*Rana temporaria* L.) and common toads (*Bufo bufo* L.) collected in southern Finland // *Ann. Zool. Fennici*. V. 21. P. 41–44.
- Toktamysova Z.S., Makhanbetova G.M. 2007. Ozernaya i ostromordaya lyagushki na destabilizirovannykh territoriyakh Centralnogo Kazakhstana // *Bioraznoobrazie i rol zhivotnykh ehkosistemakh: Materialy IV mezhdunarodnoy konferencii [Lacustrine and Acute Frogs in the Destabilized Territories of Central Kazakhstan // Biodiversity and the Role of Animals in Ecosystems]*. Dnepropetrovsk: DNU. S. 403–404. [In Russian]
- Vershinin V.L. 1995. Vidovoy kompleks amfibiy v ehkosistemakh krupnogo goroda [Species complex of amphibians in the ecosystems of a large city] // *Ekologiya*. № 4. S. 299–306. [In Russian]

THE MERCURY CONTENT IN THE ORGANISM OF AMPHIBIANS AND LEECHES FROM WATERBODIES OF VOLOGDA AND YAROSLAVL OBLASTS AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF ITS BIOLOGICAL CONSEQUENCES

V. T. Komov¹, E. S. Ivanova², V. A. Gremyachikh¹, L. N. Lapkina¹, L. V. Kozlova², E. N. Zheletok², A. M. Kirkina², D. E. Kudryashova², E. V. Schedrova¹, D. G. Seleznev¹

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
152742 Borok, Russia, e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru*

²*Cherepovets State University, Cherepovets, Lunacharski 5, 162600, Russia*

The mercury accumulation has been determined in organs of five species of amphibians and in bodies of seven species of leeches which were caught in nature. Average values of Hg (mg/kg, wet weight) range within 0.007–0.101 in amphibians and within 0.014–0.065 in leeches. The dependence of the mercury content in the studied specimens on the taxonomic status of animals, features of their habitats, and the tissue type has been found. The effect of animals' feeding the natural food with different mercury concentrations on some biological parameters (the rate of metamorphosis of toad larvae, behavior modification of tadpoles of pool frogs and leeches) is established. The results of the studies make the contribution to the study of migration mechanisms and distribution of mercury compounds in aquatic, semi-aquatic and terrestrial ecosystems. They can be applied for ecological monitoring of the environment and can be included in the course of disciplines at higher education institutions on ecology and toxicology specialty.

Keywords: amphibians – orders Caudata, Anura; leeches – families Glossiphoniidae, Hirudinidae, Herpobdellidae; mercury