

## Накопление радионуклидов амфибиями (*Pelophylax ridibundus* Pall.), обитающими на Среднем Урале

В. П. ГУСЕВА<sup>1</sup>, М. Я. ЧЕБОТИНА<sup>1</sup>, В. Г. ИЩЕНКО<sup>1</sup>, Д. Л. БЕРЗИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
E-mail: Guseva@ipae.uran.ru

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
E-mail: smithbdl@rambler.ru

Статья поступила 07.09.2015

Принята к печати 28.06.2016

### АННОТАЦИЯ

Изучены уровни накопления антропогенных радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в озерной лягушке в районах расположения Белоярского (промливневый канал АЭС) и Верхне-Тагильского (р. Тагил ниже плотины) водохранилищ на Урале. Установлено отсутствие достоверных различий в накоплении радионуклидов в зависимости от пола ( $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) и возраста амфибий. Оценены сравнительные уровни накопления радионуклидов озерной лягушкой по сравнению с другими представителями водной экосистемы. Предположено наличие неидентифицированного источника радиоактивного загрязнения амфибий, откуда  $^{137}\text{Cs}$  переносится лягушкой в р. Тагил.

**Ключевые слова:** озерная лягушка, промливневый канал, Белоярское водохранилище, Верхнетагильское водохранилище, река Тагил,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

Озерная лягушка (*Pelophylax ridibundus* Pall.) – один из широко распространенных чужеродных видов амфибий – случайно попала в водоемы Уральского региона и расселилась на значительной его территории [Топоркова и др., 1979; Иванова, 1995]. Экологические особенности этого вида изучены и описаны в работах [Иванова, 2002; Вершинин, Иванова, 2006; Иванова, Жигальский, 2011]. Показано, что озерные лягушки достаточно толерантны к химическим загряз-

нениям и повышенным температурам водной среды, а личинки амфибии даже способствуют очищению воды от поллютантов органической и неорганической природы, поступающих с промышленными стоками [Мисюра и др., 1986; Мисюра, 1989; Вершинин, 2007]. Излюбленным местом обитания озерной лягушки служат зоны подогрева водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций, где создаются благоприятные условия для жизни и размножения лягушек в тече-

ние всего года. Однако в условиях умеренных широт она благополучно живет и размножается при более низких температурах.

К настоящему времени вопрос о накоплении радионуклидов лягушками в зонах размещения предприятий ЯТЦ практически не изучен. Среди немногочисленных данных следует отметить работу [Matsushima et al., 2015], в которой приводятся данные о накоплении  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в некоторых видах лягушек 20-километровой зоны Фукусимской АЭС после аварии 2011 г. Во взрослых лягушках и сеголетках, обитающих в озере, концентрации радионуклида варьировали от 68 до 750 Бк/кг сырой массы. Работы [Stark et al., 2004; Stark, 2006] посвящены исследованию накопления и оценке доз облучения лягушек *Rana arvalis*, обитающих в заболоченных экосистемах центрально-восточной части Швеции через 17 лет после Чернобыльской аварии. По результатам анализа, средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках составила  $1,7 \pm 1,1$  кБк/кг сырой массы, при этом наиболее высокие значения отмечены для самых мелких особей амфибий (3,5 кБк/кг сырой массы). Авторами оценены коэффициенты накопления радионуклида лягушками по отношению к почве и воде. Несмотря на то, что в почве содержалось  $^{137}\text{Cs}$  значительно больше, чем в воде, коэффициенты накопления радионуклида в лягушках по отношению к воде (2500–19 100) выше, чем к почве (0,006–7).

Цель настоящей работы – исследовать уровни накопления антропогенных радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  озерной лягушкой в районах размещения Белоярского и Верхне-Тагильского водохранилищ в Свердловской области.

Белоярское водохранилище – водоем-охладитель Белоярской АЭС (БАЭС) – образовано в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы в 75 км от ее истока. Протяженность водоема ~20 км, ширина на уровне АЭС – ~3 км. Глубина по фарватеру р. Пышмы достигает 15–20 м, средняя глубина – 8–9 м. Площадь зеркала водоема составляет примерно 47 км<sup>2</sup>. Белоярская атомная электростанция расположена на левом берегу водохранилища в 7 км от плотины. Она пущена в эксплуатацию в 1964 г. Первый и второй энергоблоки станции к насто-

ящему времени уже выведены из эксплуатации. В 1980 г. пущен третий энергоблок корпусного типа на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (БН-600), который работает и сегодня. Запущен четвертый энергоблок БН-800, расположенный на левом берегу водоема-охладителя выше по течению в сторону верховья. За период работы станции сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН достаточно подробно изучены экологические особенности водоема-охладителя и выявлены закономерности накопления и распределения антропогенных радионуклидов в различных компонентах Белоярского водохранилища, находящегося под длительным воздействием Белоярской АЭС. Результаты этих работ описаны в ряде статей и монографий [Чеботина и др., 1992, 2002; Чеботина, Николин, 2005; Трапезников и др., 2008; Трапезников, Трапезникова, 2012; Chebotina et al., 2014].

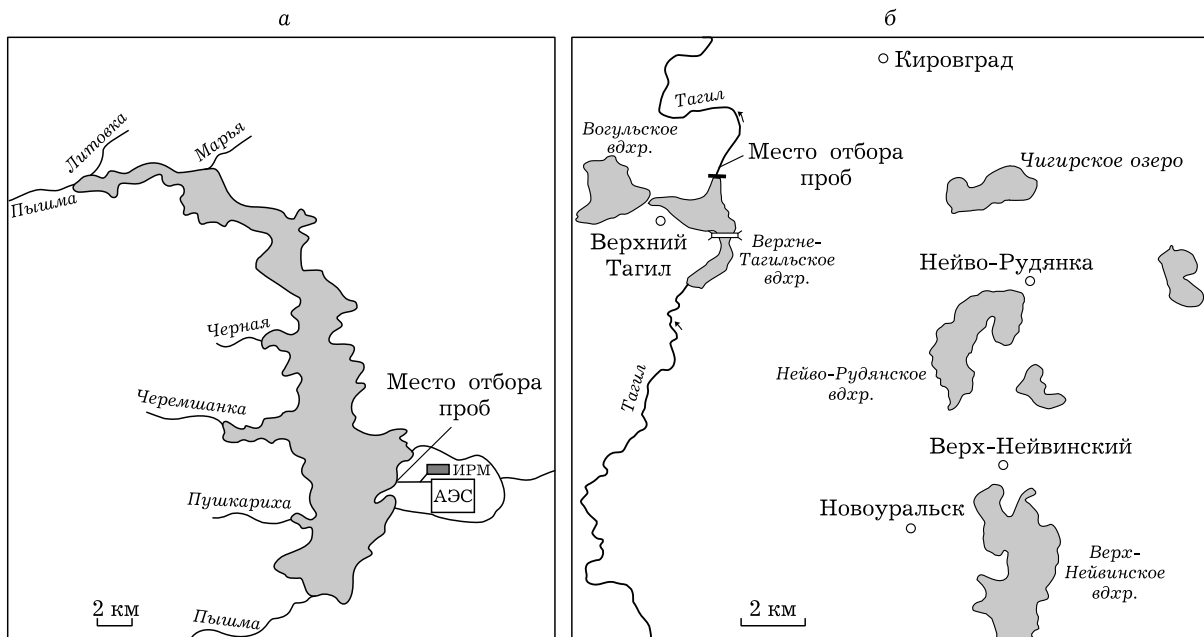
Основным путем поступления радионуклидов в Белоярское водохранилище от АЭС в настоящее время является промливневый канал (ПЛК), куда сбрасываются дебалансные воды станции. Последние включают в себя воды, прошедшие спецводоочистку, слив спецпрачечных, душевых, а также талые и ливневые воды с территории станции; кроме того, сюда же поступают стоки с соседнего предприятия Института реакторных материалов (ИРМ), где работает экспериментальный реактор. Периодическое обследование радиоэкологического состояния ПЛК подтвердило факт надфоновое загрязнение воды, гидробионтов и грунтов канала  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (вода, 2011 г. – 0,028 и 0,008 Бк/л; грунт, 2003 г. – 10–30 и 3000–6000 Бк/кг; рдест гребенчатый, 1980 г. – 104 и 95 000 Бк/кг в расчете на сухую массу по  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  соответственно). ПЛК, не замерзающий в течение года, облюбовали озерные лягушки, визуальная численность которых достаточно велика. Выполнение данной работы связано с тем, что в литературе отсутствуют данные о накоплении радиоактивных загрязнителей указанным видом амфибий в зонах постоянного сброса радионуклидов в водную среду предприятиями ЯТЦ и в частности Белоярской АЭС.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для сравнительной оценки накопления радионуклидов озерной лягушкой выбран район расположения Верхне-Тагильского водохранилища, который достаточно удален (>100 км на северо-запад) от Белоярской АЭС и характеризуется массовым скоплением озерной лягушки. Водоем образован в 1960 г. в районе слияния рек Тагил и Вогулка. Площадь зеркала водоема 3,5 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 3,8 м, максимальная глубина – 5 м. Водохранилище служит в качестве водоема-охладителя Верхнетагильской ГРЭС (1500 мВт). Подогретая вода используется для обеспечения горячей водой населения и предприятий г. Верхнего Тагила. По характеру теплового баланса Верхне-Тагильское водохранилище относится к категории водоемов с сильным перегревом, так как температура воды в нем постоянно превышает температуру воды в естественных водоемах более чем на 6 °С. В середине вегетационного периода температурный показатель колеблется в пределах 30 °С, а в наиболее холодное время не опускается ниже 8–10 °С. Озерная лягушка завезена в водохранилище из Краснодарского края в 1980-х гг. при зарыблении водоема белым амуром [Топоркова и др., 1979; Вершинин, 2007] и широко распространилась в экосистемах сообщающихся рек и водоемов.

Работу выполняли в 2013–2014 гг. Местом проведения исследований выбрали промливневый канал, соединяющий БАЭС и ИРМ с Белоярским водохранилищем (56°50' с. ш., 61°18' в. д.), и р. Тагил ниже плотины (57°22' с. ш., 59°57' в. д.), через которую происходит сброс воды в реку из Верхне-Тагильского водохранилища (см. рисунок). В районе ПЛК пробы отбирали из общего канала, соединяющего сбросы АЭС и ИРМ. Объектами исследования служили озерные лягушки, в том числе взрослые особи и сеголетки, головастики, рыбы и мальки рыб, водные растения, планктон, грунт.

Лягушек, лягушат, головастиков и мальков рыб извлекали при помощи сачков и усыпляли эфиром. В процессе отбора материала лягушек отлавливали в количестве 43 и 15 взрослых особей из ПЛК и р. Тагил соответственно. Лягушат оказалось четыре особи (25 г), мальков рыб – 530 (375 г), головастиков – 95 особей (130 г) соответственно. Растения, рыбу, песчано-илистый грунт отбирали в трех повторностях по 2–3 кг на повторность. Планктон извлекали из слоя 0–1 м от поверхности воды при помощи сачков, изготовленных из мельничного газа с размером пор 0,067 мм. После отбора все пробы транс-



Расположение мест отбора проб в районах Белоярского (а) и Верхне-Тагильского (б) водохранилищ

портировали в лабораторию, высушивали, озоляли при температуре 450 °С, после чего определяли в них содержание радионуклидов.

В лаборатории у лягушек измеряли длину тела, определяли пол и возраст. Для определения возраста использовали срезы второй фаланги четвертого пальца правой задней конечности амфибии. Толщина среза – 15–18 мкм. После декальцинации пальцев в течение 5 ч в 5 %  $\text{HNO}_3$  готовили срезы на замораживающем микротоме, окрашивали их гематоксилином в течение 3 мин и помещали в глицерин для сохранения материала. В процессе обработки данных определяли наружный диаметр среза и средние диаметры всех линий остановки роста, т. е. линий, образованных во время зимовки. Таким образом, возраст определялся как количество пережитых зимовок [Смирин, 1972; Castanetm, Smirina, 1990].

Концентрацию  $^{90}\text{Sr}$  в пробах золы определяли радиохимическим методом, основанным на выщелачивании химических элементов 6 н  $\text{HCl}$  с последующим осаждением оксалатов щелочно-земельных элементов и выделением из раствора  $^{90}\text{Sr}$  в виде карбонатов. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  определяли по дочернему  $^{90}\text{Y}$  после их разделения безугольным аммиаком. Радиометрию полученных осадков производили на малофоновой установке УМФ-2000 в трех повторностях при статистической ошибке счета 10–15 %.

Концентрацию  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  определяли с помощью многоканальных  $\gamma$ -анализаторов фирмы “Canberra-Packard” и “ORTEC” (США) при ошибке измерений не более 10–20 %. Для повышения эффективности просчета золу лягушек объединяли по принципу пола и длины тела. В процессе анализа проб  $^{134}\text{Cs}$  обнаружен в значительных количествах только в двух особях амфибий из ПЛК и р. Тагил, содержащих аномально высокое для данных популяций количество  $^{137}\text{Cs}$ . В остальных пробах амфибий из данных водоемов  $^{134}\text{Cs}$  регистрировался в микроконцентрациях ниже уровня достоверности определений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования популяции лягушек из ПЛК показаны в табл. 1. Выборка

представлена особями в возрасте от 1 до 5 лет. Из них 10 амфибий женского пола, остальные 32 – мужского пола. Длина тела варьировала в пределах 57–93 мм. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  по результатам индивидуальных измерений изменялась от 2 до 25 Бк/кг сухой массы при среднем значении  $10 \pm 1$  Бк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  варьировало от 8 до 26 Бк/кг при среднем значении  $18 \pm 2$  Бк/кг

Результаты исследования популяции лягушек из р. Тагил отражены в табл. 2. Возрастные показатели для данной выборки варьировали от одного до шести лет, по половому признаку она содержала пять женских и девять мужских особей. Длина тела изменялась от 63 до 106 мм. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  варьировала от 2 до 10 Бк/кг при среднем значении  $5 \pm 1$  Бк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  изменялось от 11 до 100 Бк/кг при среднем значении  $48 \pm 10$  Бк/кг.

Сравнение двух выборок лягушек из популяций ПЛК и р. Тагил позволило заключить, что в обоих местообитаниях они представлены преимущественно самцами (~70 %), при этом основная масса отловленных особей (80–90 %) имела возраст 1–3 года. По длине тела выборки лягушек практически не отличались. Как и следовало ожидать, средняя концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в амфибиях из ПЛК, находящегося в зоне воздействия АЭС, оказалась в среднем в 2 раза выше, чем в р. Тагил. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в популяции лягушек р. Тагил оказалось неожиданно более высоким, чем в ПЛК. Две совокупности данных, представленных в табл. 1 и 2, подвергались статистической обработке с помощью компьютерной программы STATISTICA по критерию Стьюдента. Подтверждено, что лягушки из популяции ПЛК накапливают  $^{90}\text{Sr}$  достоверно больше, чем аналогичные животные из р. Тагил ( $p = 0,004$ ). В то же время  $^{137}\text{Cs}$  накапливается лягушками в ПЛК достоверно меньше, чем в р. Тагил ( $p < 0,005$ ).

Кроме указанных выше данных, в каждой из популяций обнаружено по одной особи амфибий, которые не представлены в таблицах в связи с тем, что по уровню содержания  $^{137}\text{Cs}$  они на несколько порядков превышали самые высокие показатели, приведенные в таблицах. В частности, в ПЛК одна лягушка содержала 45 000, а лягушка из

Т а б л и ц а 1

## Характеристика индивидуальных показателей лягушек ПЛК

Возраст, год	Пол	Длина тела, мм	<sup>90</sup> Sr, Бк/кг сухой массы	<sup>137</sup> Cs, Бк/кг сухой массы
1	♀	74,0	6,6	26,2
1	♀	68,2	24,9	21,5
1	♀	59,4		
1	♀	83,4	5,2	11,3
2	♀	85,2	9,7	17,9
2	♀	83,0	6,4	
3	♀	92,5	7,7	16,7
2	♀	89,0	5,9	
2	♀	93,5	6,9	
3	♀	93,0	7,0	
2	♂	70,0	17,0	22,6
1	♂	67,0		
2	♂	75,0	12,0	
1	♂	57,0	7,3	
1	♂	71,0		
3	♂	71,0	22,4	23,9
1	♂	69,5	17,1	
1	♂	70,5		
2	♂	72,8	8,4	
2	♂	79,5	12,9	8,0
1	♂	74,0	10,5	
1	♂	77,0	6,4	
3	♂	84,0	5,3	10,7
2	♂	81,0	7,9	
5	♂	81,3	2,0	
2	♂	81,0	6,4	18,4
3	♂	78,6	8,4	
3	♂	79,0	13,9	
3	♂	83,5	14,2	
2	♂	84,6	1,4	
3	♂	79,0	6,0	
4	♂	84,5	18,5	18,7
3	♂	78,0	7,0	
2	♂	77,0	7,4	
3	♂	79,5	3,0	
2	♂	79,5	7,8	
3	♂	84,0	20,3	
3	♂	85,4	11,6	
5	♂	88,5	9,1	21,2
1	♂	87,6	10,3	
2	♂	90,0	6,3	
3	♂	91,7	3,0	
Среднее значение			9,6 ± 0,9	18,1 ± 1,7

## Характеристика индивидуальных показателей лягушек р. Тагил

Возраст, год	Пол	Длина тела, мм	Концентрация, Бк/кг сухой массы	
			<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
2	♀	84,0	НПО	20,8
2	♀	79,0	2,2	
6	♀	106,0	4,1	
2	♀	85,0	10,4	
2	♀	92,0	5,2	
4	♂	85,0	2,2	74,2
2	♂	73,0	5,3	39,0
2	♂	78,5	2,4	11,2
3	♂	80,0	5,1	51,8
Не опр.	♂	90,5	3,4	40,4
2	♂	78,0	6,9	44,3
3	♂	88,5	9,8	98,5
1	♂	75,5	8,0	61,9
1	♂	63,5		39,7
Среднее значение			5,9 ± 0,7	48,2 ± 9,4

р. Тагил – 53 000 Бк/кг <sup>137</sup>Cs. Следует заметить, что подобный результат получен в работе [Matsushima et al., 2015], где одна лягушка (*Buergeria bergeri*), обитающая в лесу в 20-километровой зоне Фукусимской АЭС после аварии 2011 г., имела особенно высокое содержание цезия (160 000 Бк/кг сырого веса) по сравнению со средними значениями в других лягушках.

Исследование содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в озерных лягушках разного пола из популяции ПЛК не выявило различий в накоплении радионуклидов мужскими и женскими особями. Для популяции лягушек р. Тагил аналогичные данные получены по <sup>90</sup>Sr. Для <sup>137</sup>Cs сравнительную оценку в этом случае произвести не представилось возможным из-за недостаточного количества данных.

Установлено, что в популяции взрослых лягушек ПЛК отсутствует достоверная корреляционная связь между концентрацией <sup>90</sup>Sr в организме и возрастом амфибий от 1 до 4 лет (коэффициент корреляции –0,043). В то же время отмечена тенденция к снижению накопления этого радионуклида лягушками с увеличением сухой массы тела (коэффициент корреляции –0,314), что, возможно, связано со снижением интенсивности ассимиля-

ционных процессов по мере старения организма.

На примере ПЛК, в котором зарегистрировано большее разнообразие гидробионтов по сравнению с р. Тагил, сравнивались уровни накопления исследуемых радионуклидов взрослыми лягушками, сеголетками, головастиками с другими представителями водной экосистемы канала (планктон, рыбы, растения, грунт). Как видно из табл. 3, оба радионуклида накапливаются в наибольшей степени планктоном (<sup>90</sup>Sr – 44, <sup>137</sup>Cs – 3428 Бк/кг сухой массы), а в наименьшей – представителями ихтиофауны (<sup>90</sup>Sr – 0,8–1,7, <sup>137</sup>Cs – 5–17 Бк/кг сухой массы). Среди амфибий лягушата и головастики накапливают оба радионуклида больше, чем взрослые лягушки, что, возможно, связано с большим вкладом планктона в пищевую рацион молодых особей амфибий по сравнению со взрослыми лягушками.

Что касается р. Тагил, то в месте отбора проб в этой реке концентрация <sup>90</sup>Sr в прикрепленных водных растениях оказалась примерно в 2–4 раза, а <sup>137</sup>Cs – на два порядка ниже, чем в ПЛК. В частности, в элодее, урути и роголистнике содержание <sup>90</sup>Sr составляло 4,8, 6,4 и 6,0, а <sup>137</sup>Cs – 9,1, 7,3 и

Уровни концентраций  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в различных компонентах экосистемы ПЛК

Объект исследования	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг сухой массы	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг сухой массы
Лягушки	9,7 ± 0,9	18,1 ± 1,7
Лягушата	27,5 ± 2,9	397,5 ± 86,0
Головастики	14,8 ± 7,2	486,3 ± 61,0
Мальки рыб	0,8 ± 0,5	5,0 ± 2,3
Карась	1,5 ± 0,1	17,3 ± 0,8
Лещ	1,7 ± 0,6	8,8 ± 1,8
Рдест гребенчатый	15,1 ± 0,8	1228 ± 179
Кладофора	21,6 ± 2,2	1156 ± 150
Планктон	43,7 ± 2,3	3428 ± 178
Песчано-илистый грунт	6,4 ± 1,5	81 ± 9

11,1 Бк/кг сухой массы соответственно. Последнее свидетельствует о том, что экосистеме р. Тагил ниже плотины можно считать радиоэкологически более чистой, чем ПЛК. Относительно более высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках р. Тагил заставляет предположить, что они накопили данный радионуклид в другом месте и перенесли его сюда в своих телах. Это подтверждает тот факт, что некоторые амфибии содержали особенно высокие концентрации радионуклида.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше данные исследований показали неожиданный результат – уровни концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках р. Тагил на выходе из Верхне-Тагильского водохранилища оказались выше, чем в промливневом канале Белоярского водохранилища, куда этот радионуклид поступает от Белоярской АЭС. Кроме того, в каждой выборке из этих местообитаний обнаружено по одной лягушке, содержащей аномально высокую концентрацию  $^{137}\text{Cs}$ . В этих же особях обнаружен  $^{134}\text{Cs}$  (период полураспада 2,07 года): в лягушке из ПЛК – 441, из р. Тагил – 320 Бк/кг сухой массы. Появление  $^{134}\text{Cs}$  в объектах окружающей среды связано с работой предприятий ЯТЦ. Это означает, что лягушки тагильской популяции могут накапливать  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  только на загрязненной этими радионуклидами территории и переносить их за ее пределы, ограничивающиеся ареалом распространения миграционных путей данного вида

амфибий. Полученные данные позволяют предположить наличие неидентифицированного источника радиоактивного загрязнения  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  на данной территории, откуда он переносится с озерной лягушкой в р. Тагил.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вершинин В. Л., Иванова Н. Л. Специфика трофических связей вида-вселенца (*Rana radibunda* Pallas, 1771) в зависимости от условий обитаний // Поволжск. экол. журн. 2006. № 3. С. 12–15.
- Вершинин В. А. Амфибии и рептилии Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 170 с.
- Иванова Н. Л. Особенности экологии озерной лягушки (*Rana radibunda* Pall.), интродуцированной в водоемы-охладители // Экология. 1995. № 6. С. 473–476.
- Иванова Н. Л. Озерная лягушка (*Rana radibunda* Pall.) в водоемах-охладителях на Среднем Урале // Там же. 2002. № 2. С. 137–141.
- Иванова Н. Л., Жигальский О. А. Демографические особенности популяций озерной лягушки (*Rana radibunda* Pall.), интродуцированной в водоемы Среднего Урала // Там же. 2011. № 5. С. 361–368.
- Клейненберг С. Е., Смирин Э. М. Метод определения возраста у амфибий. Зоол. журн. 1969. Т. 48. С. 1090–1094.
- Мисюра А. Н., Тарасенко С. Н., Будахов В. П. и др. Способ очистки воды от тяжелых металлов // А. с. № 1229185. Опубл. в Бюл. С02Г3/32. 1986.
- Мисюра А. Н. Экология фоновых видов амфибий центрального степного Приднпровья в условиях промышленного загрязнения водоемов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1989.
- Смирин Э. М. Годовые слои в костях травяной лягушки (*Rana temporaria*) // Зоол. журн. 1972. Т. 51, вып. 10. С. 1529–1534.
- Топоркова Л. Я., Боголюбова Т. В., Хафизова Р. Т. К экологии озерной лягушки, интродуцированной в водоемы горно-таежной зоны Среднего Урала // Фауна Урала и Европейского севера. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1979. С. 108–115.

- Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н., Гусева В. П., Николин О. А. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: АкадемНаука, 2008. 398 с.
- Трапезников А. В., Трапезникова В. Н. Пресноводная радиоэкология. Екатеринбург: АкадемНаука, 2012. 544 с.
- Чеботина М. Я., Николин О. А. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 90 с.
- Чеботина М. Я., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Куликов А. В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 77 с.
- Чеботина М. Я., Гусева В. П., Трапезников А. В. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 170 с.
- Chebotina M. Ya., Guseva V. P., Polyakov E. V. Zooplankton of the cooling reservoir of the Beloyarskaya atomic power station: species characteristics and accumulative ability // Zooplankton: species diversity, distribution and seasonal dynamics / ed. G. Kechayas. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2014. Ch. 5. P. 127–148.
- Castanet J., Smirina E. M. Introduction to the skeletochronological method in amphibians and reptiles // Ann. Sci. Nat. Zool. 1990. Vol. 11. P. 191–196.
- Matsushima N., Ihara S., Takase M., Horiguchi T. Assessment of radiocesium contamination in frogs 18 months after the Fukushima Daiichi nuclear disaster // Sci. reports. 2015. Vol. 5. P. 1–6.
- Stark K. Risk from radionuclides: a frog's perspective. Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in a riparian wetland, radiation doses, and effects on frogs and toads after low-dose rate exposure. Stockholm: Department of Systems Ecology Stockholm University. 2006. 34 p.
- Stark K., Avila R., Wallberg P. Estimation of radiation doses from  $^{137}\text{Cs}$  to frogs in a wetland ecosystem // J. Environ. Radioactivity. 2004. Vol. 75. P. 1–14.

## **$^{90}\text{Sr}$ and $^{137}\text{Cs}$ Accumulation in the March Frog (*Pelophylax ridibundus* Pall.) in the Middle Urals**

V. P. GUSEVA<sup>1</sup>, M. Ya. CHEBOTINA<sup>1</sup>, V. G. ISHCENKO<sup>1</sup>, D. L. BERZIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Plant and Animal Ecology, UrB RAS  
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202  
E-mail: Guseva@ipae.uran.ru

<sup>2</sup> B. N. Yeltzin Ural Federal University  
620002, Ekaterinburg, Mira str., 19

$^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  accumulation in the march frog were studied in the regions of the Beloyarskoye (discharge channel) and Verkhnetagilskoye (the Tagil river downstream of the dam) reservoirs.  $^{90}\text{Sr}$  concentrations in the animals from the discharge channel varied from 2 to 25 Bq/kg, from the Tagil river – from 1 to 13 Bq/kg,  $^{137}\text{Cs}$  concentrations were 8–26 and 11–100 Bq/kg, respectively. No distinctions in  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  accumulation depending on age and sex were found. Accumulation levels in the march frog were compared with those in other representatives of the water ecosystem of the discharge channel. It was found that the population from the discharge channel accumulated significantly more  $^{90}\text{Sr}$  and less  $^{137}\text{Cs}$  than the population from the Tagil river. Evidently,  $^{137}\text{Cs}$  was transferred to the Tagil river from a certain unknown source of radioactive pollution.

**Key words:** the march frog, discharge channel, Beloyarskoye reservoir, Verkhnetagilskoye reservoir, the Tagil river,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  accumulation.