

УДК 539.163:597.6:574.6

НАКОПЛЕНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКОЙ В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

© 2021 г. М. Я. Чеботина^{1,*}, В. П. Гусева¹, Д. Л. Берзин¹

¹ Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 23.10.2019 г.

После доработки 16.09.2020 г.

Принята к публикации 11.11.2020 г.

Проведено исследование накопления антропогенных радионуклидов ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs в озерной лягушке Белоярского водохранилища и водоема сравнения (Рефтинское водохранилище). Установлена значительная вариабельность показателей индивидуальных концентраций радионуклидов во взрослых амфибиях исследованных водоемов (по ^{90}Sr – более чем в 30 раз, по ^{137}Cs – на несколько порядков величин). Выявлено аномально высокое загрязнение ^{134}Cs и ^{137}Cs одной лягушки из промливневого канала Белоярского водохранилища, что могло быть следствием контакта животного с радиоактивной средой в зоне размещения атомного предприятия. Показано, что в настоящее время в результате функционирования двух энергоблоков на быстрых нейтронах не наблюдается массового загрязнения радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs амфибий, обитающих в Белоярском водохранилище.

Ключевые слова: озерная лягушка, Белоярское водохранилище, АЭС, Рефтинское водохранилище, радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs , гидробионты, концентрации

DOI: 10.31857/S0869803121010045

Исследование роли животных как индикатора радиоактивного загрязнения водных экосистем является важной научно-практической задачей при изучении процессов накопления и распространения техногенных радионуклидов в пространстве и по пищевым цепям. В этих исследованиях основное внимание обычно уделяется рыбе как продукту питания человека [1–4]. Остальные обитатели пресноводных водоемов, в том числе лягушки, в радиоэкологическом плане изучены слабо. В то же время благодаря высокой экологической пластичности эти амфибии достаточно широко распространены в водных экосистемах различных географических зон, включая горные территории [5, 6]. Особенно благоприятны для них водоемы-охладители тепловых и атомных электростанций, которые интенсивно заселяются лягушками как из естественных близко расположенных местообитаний, так и при случайной интродукции, а также при организации на территории водоемов-охладителей рыбных хозяйств или просто при зарыблении водохранилищ [7, 8]. Благодаря высокой мобильности в воде и на суше лягушки могут переносить радионуклиды и химические поллютанты из загрязненных территорий и тем самым способствовать их распространению в окружающей среде.

Экологические особенности лягушек описаны в работах [9, 10]. Интерес к экологии и химическому составу тканей лягушек отчасти вызван их использованием для производства пищевой продукции в ряде стран (Китай, Вьетнам, Франция, Бельгия, Португалия, Италия, Испания, Голландия и др.), где они активно культивируются в искусственных и природных водоемах, при этом мировой вылов животных составляет сотни тысяч тонн в год [11–14].

Радиоэкологические исследования лягушек ограничиваются незначительным количеством работ. В статье [15] приводятся данные о накоплении $^{134,137}\text{Cs}$ некоторыми видами лягушек в 20-километровой зоне Фукусимской АЭС после аварии 2011 г. Во взрослых лягушках и сеголетках, обитающих в озере, концентрации радионуклидов варьировали от 68 до 750 Бк/кг сырой массы. Работы [16, 17] посвящены исследованию накопления и оценке доз облучения лягушек *Rana arvalis* из заболоченных экосистем центрально-восточной части Швеции через 17 лет после Чернобыльской аварии. Согласно результатам исследования, средняя концентрация ^{137}Cs в лягушках составила 1.7 ± 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 радио-

нуклида, которые по отношению к воде оказались значительно выше, чем по отношению к почве. В работе [18] амфибии использовались для биоиндикационных целей – выявлению изменений в популяционной структуре, физиологических и генетических отличиях лягушек, обитающих на радиоактивно загрязненных территориях в зоне ПО “Маяк” по сравнению с контрольным регионом. В публикации [19] установлены изменения в печени, крови, половых органах и продолжительности жизни лягушек на территории Уральского радиоактивного следа по сравнению с контрольным регионом.

Цель данной работы – исследование уровней накопления долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs в озерной лягушке, обитающей в Белоярском водохранилище – водоеме-охладителе Белоярской АЭС (БАЭС) на Урале.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом служили озерные лягушки (*Pelodytes ridibundus* Pall., 1771), в том числе взрослые особи и сеголетки, головастики, вода, водные растения, рыбы, планктон, грунт из Белоярского водохранилища и водоема сравнения.

Белоярское водохранилище расположено на Среднем Урале в 50 км от Екатеринбурга. Искусственный водоем образован в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы в 75 км от ее истока. Протяженность его около 20 км, ширина на уровне АЭС около 3 км. Глубина по фарватеру р. Пышмы достигает 15–20 м, средняя глубина – 8–9 м. Площадь зеркала водоема составляет примерно 47 км². Эколого-географическая и гидрохимическая характеристика Белоярского водохранилища приведена в работе [20]. В настоящее время на БАЭС находятся в эксплуатации два энергоблока – 3-й (работает с 1980 г.) и 4-й (пущен в 2014 г.). За время работы первых трех энергоблоков основным путем поступления радионуклидов в Белоярское водохранилище является промливневый канал (ПЛК), куда сбрасываются дебалансные воды станции (воды, прошедшие спецводоочистку, воды спецпрачечных, душевых, талые и ливневые воды с территории станции). Кроме того, в канал поступают воды с соседнего предприятия Института реакторных материалов (ИРМ), где работает экспериментальный реактор. Промливневый канал имеет глубину не более 1 м и не замерзает в зимнее время. Из растений в канале преобладают рдест гребенчатый и кладофора, реже встречаются ряска, рдест курчавый и элодея. Планктон представлен 30 видами фито- и 10 видами зоопланктона [2]. В канале много мальков рыб, кроме того, встречаются карась, лещ, чебак, окунь. Обращает на себя внимание обилие

озерных лягушек в нем, особенно в период размножения.

Для сравнительной оценки накопления радионуклидов озерной лягушкой было выбрано Рефтинское водохранилище в Свердловской области – водоем-охладитель Рефтинской ГРЭС. Площадь водоема 25.3 км², максимальная и средняя длина 14 и 4 км, максимальная и средняя глубина 22 и 5.3 м соответственно. Рефтинское водохранилище создано в 1968 г. на р. Рефт, являющейся левым притоком р. Пышмы. Водохранилище используется для технического водоснабжения Рефтинской ГРЭС, крупнейшей тепловой электростанции России, расположенной в 100 км северо-восточнее г. Екатеринбурга. Водоем характеризуется благоприятным гидрологическим режимом, информация о химическом составе воды приведена в работе [21]. Температура воды в период наибольшего прогрева превышает естественную на 4.3–4.8°C, а перепад температур в различных частях водоема из-за сброса подогретой воды может составлять до 10°C. Особенности экологии озерной лягушки, интродуцированной в Рефтинское водохранилище, описаны в работах [22, 23].

Точки наблюдений на территории Белоярского водохранилища располагались в промливневом канале (56.84° с. ш., 61.31° в. д.), теплом заливе – месте сброса подогретой воды (56.83° с. ш., 61.31° в. д.), небольшом водоеме в лесном массиве за 4-м энергоблоком (56.88° с. ш., 61.27° в. д.), связанном протоком с Белоярским водохранилищем, и на правобережной береговой линии водоема в районе расположения б/о “Кедровая роща” (56.92° с. ш., 61.21° в. д.). В Рефтинском водохранилище местом отбора проб служила зона водоема, расположенная недалеко от Рефтинской ГРЭС (57.10° с. ш., 61.73° в. д.) (рис. 1). В местах отбора проб преобладали каменистый и песчаный грунты, за исключением водоема за 4-м энергоблоком, где в основном илистый грунт.

Отлов лягушек проводили в летний период (июнь–август) 2016–2017 гг. Лягушек ловили при помощи удочки, а сеголеток, головастиков и мальков рыб отлавливали при помощи сачков, после чего их усыпляли с помощью эфира. В различных точках наблюдений было отобрано от одной до 50 особей взрослых лягушек, их общее число составило 157 животных. В лаборатории лягушек взвешивали, определяли длину тела и пол. Растения и рыбу отбирали в трех повторностях по 2–3 кг на повторность. Планктон отбирали из слоя 0–1 м от поверхности воды при помощи сачков, изготовленных из мельничного газа с размером пор 0.067 мм. Грунт отбирали пробоотборником на глубину 0–5 см. Воду отбирали в среднем по 70 л на повторность, подкисляли, в

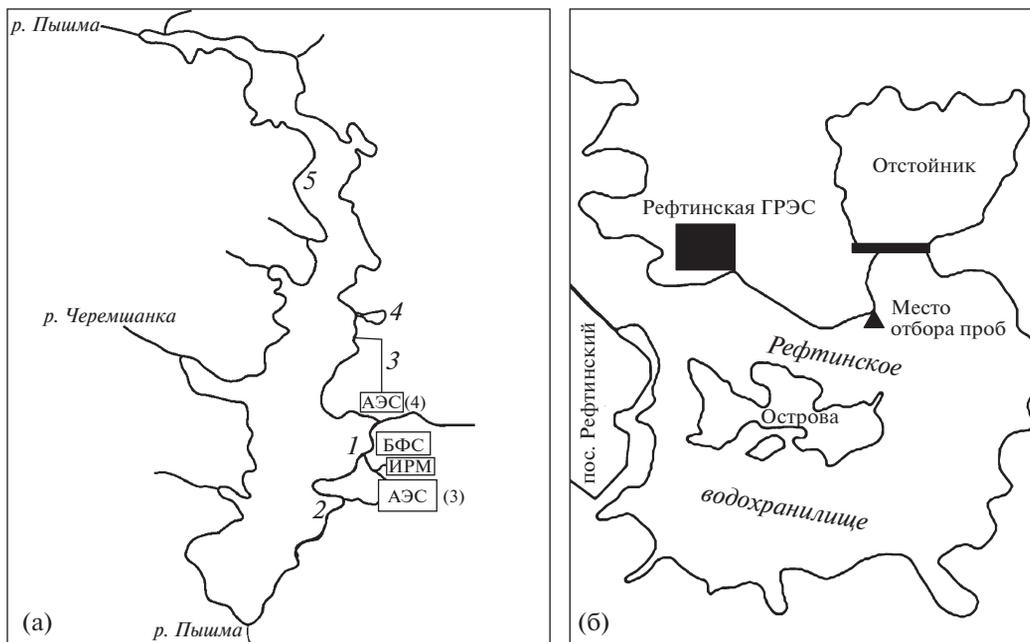


Рис. 1. Карты-схемы Белоярского (а) и Рефтинского (б) водохранилищ. а: АЭС (3) и АЭС (4) – 3-й и 4-й энергоблоки Белоярской АЭС; ИРМ – Институт реакторных материалов; БФС – Биофизическая станция Института экологии растений и животных УрО РАН; 1 – проливневый канал; 2 – зона сброса подогретых вод (теплый залив); 3 – водосбросный канал 4-го энергоблока АЭС; 4 – водоем за 4-м энергоблоком; 5 – база отдыха “Кедровая роща”.

Fig. 1. Schematic maps of Beloyarsky (a) and Reftinsky (b) reservoirs. a: NPP (3) and NPP (4) – 3rd and 4th power units of the Beloyarsky NPP; IRM – Institute of Reactor Materials; BFS – Biophysical Station of the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 1 – PLC; 2 – heated water discharge zone (warm bay); 3 – spillway channel of the 4th NPP power unit; 4 – reservoir behind the 4th power unit; 5 – recreation center “Kedrovaya Roscha”.

лабораторных условиях фильтровали и выпаривали.

Все пробы после высушивания и озоления при температуре 450°C исследовали на содержание в них радионуклидов.

Концентрацию ⁹⁰Sr в пробах золы определяли радиохимическим методом, основанным на выщелачивании химических элементов 6 н. соляной кислотой с последующим осаждением оксалатов щелочно-земельных элементов и выделением из раствора ⁹⁰Sr в виде карбонатов. Содержание ⁹⁰Sr определяли по дочернему ⁹⁰Y после разделения этих радионуклидов безугольным аммиаком. Радиометрию полученных осадков производили на малофоновой установке УМФ-2000 (Россия) в трех повторностях при статистической ошибке счета 10–15%.

Концентрацию ^{134,137}Cs определяли с помощью многоканальных γ-анализаторов фирмы “Canberra-Packard” и “ORTEC” (США) при ошибке измерений не более 10–20%. Для повышения эффективности подсчета золу лягушек объединяли по принципу пола и длины тела. В процессе анализа проб ¹³⁴Cs был обнаружен в значительных количествах только в одной особи амфибий из ПЛК, в остальных пробах радионуклид регистри-

ровался в микроконцентрациях ниже предела детектирования.

Полученные результаты обработаны с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в статистическом пакете Statistica for Windows 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из табл. 1, в исследованных пробах лягушек обоих водохранилищ преобладали самцы, которые составляли >80% от всей совокупности отловленных животных. Лягушки из водоема за 4-м энергоблоком имели большие средние размеры тела (в среднем на 20%) и вес (в среднем на 47%) по сравнению с животными из других точек наблюдений. Возможно, это связано с благоприятными условиями жизни лягушек в указанном водоеме (отдаленностью от акватории водоема-охладителя, отсутствием быстрого течения, штормовых волн, хорошим прогревом воды, обильной пищевой базой и др.). В районе б/о “Кедровая роща” удалось отловить только одну лягушку.

На рис. 2 представлены концентрации ⁹⁰Sr в озерных лягушках из различных точек наблюдений. Видно, что индивидуальные показатели кон-

Таблица 1. Некоторые морфометрические характеристики исследуемых популяций озерных лягушек Белоярского и Рефтинского водохранилищ
Table 1. Some morphometric characteristics of the studied populations of marsh frogs of the Beloyarsky and Reftinsky reservoirs

Место отбора проб	Число особей			Длина тела, мм	Вес, г сырой массы
	общее	♀	♂		
Белоярское водохранилище					
а) промливневый канал	43	10	33	79.4 ± 1.3 (57.0–93.5)	56.6 ± 2.7 (21.5–105.5)
б) теплый залив	50	11	39	75.2 ± 1.2 (48.2–86.4)	50.9 ± 1.7 (19.1–80.8)
в) залив за 4-м энергоблоком	21	3	18	95.5 ± 1.9 (86.0–118.1)	102.2 ± 6.8 (75.6–190.1)
г) б/о “Кедровая роща”	1	нет	1	94.0	116.3
Рефтинское водохранилище	42	9	33	70.6 ± 4.8 (57.4–90)	55.1 ± 5.0 (40.1–85.9)

центраций радионуклида у животных характеризуются значительной вариабельностью. В частности, содержание ^{90}Sr в амфибиях варьировало в следующих пределах (Бк/кг сухой массы): в ПЛК — от 1.4 до 24.9, в теплом заливе — от 1 до 20.6, в водоеме за 4-м энергоблоком — от 2.7 до 9.3, в Рефтин-

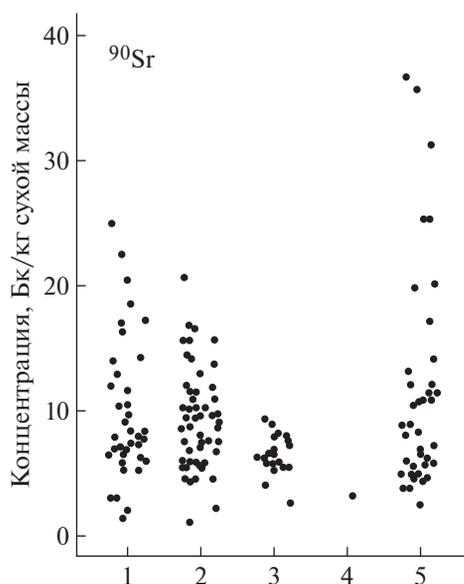


Рис. 2. Концентрации ^{90}Sr в лягушках Белоярского и Рефтинского водохранилищ. Места отбора проб на акватории Белоярского водохранилища: 1 – ПЛК, 2 – теплый залив, 3 – водоем за 4-м энергоблоком, 4 – база отдыха “Кедровая роща”; 5 – Рефтинское водохранилище.

Fig. 2. Concentrations of ^{90}Sr in frogs of the Beloyarsky and Reftinsky reservoirs. Sampling sites in the water area of the Beloyarsky reservoir: 1 – PLC, 2 – warm bay, 3 – reservoir behind the 4th power unit, 4 – recreation center “Kedrovaya Roscha”; 5 – Reftinsky reservoir.

ском водохранилище — от 2.5 до 36.5. Статистическая обработка данных не показала значимых различий по накоплению ^{90}Sr амфибиями из различных точек наблюдений в пределах Белоярского водохранилища и по сравнению с Рефтинским водоемом ($p = 0.08$). Однако замечена тенденция к снижению среднего показателя концентраций радионуклида в водоеме за 4-м энергоблоком БАЭС (в среднем в 1.5 раза) по сравнению с остальными точками наблюдений. Это отчасти можно объяснить пониженным содержанием ^{90}Sr в воде этого водоема по сравнению с остальными точками наблюдений (табл. 2).

Концентрации ^{137}Cs в амфибиях исследованных акваторий также заметно варьировали в каждом месте отлова животных (рис. 3). В частности, для района ПЛК основная масса данных измерений ^{137}Cs лежала в пределах от 8 до 26.2 Бк/кг, однако одна лягушка имела высокое (45000 Бк/кг) содержание радионуклида. Кроме того, в этой лягушке обнаружен ^{134}Cs (441 Бк/кг), хотя в животных из других местообитаний данный радионуклид не выявлен. Обращают на себя внимание пониженные (2–8 Бк/кг, среднее значение 4.3 ± 0.62 Бк/кг) концентрации ^{137}Cs в лягушках зоны сброса подогретой воды, которые достоверно отличаются от соответствующих показателей для других местообитаний, включая Рефтинское водохранилище ($p < 0.0001$). Возможной причиной этому могут быть особые гидрохимические условия в теплом заливе, которые формируются под влиянием сбросных подогретых вод, поступающих в водоем от БАЭС после прохождения их через системы охлаждения реактора. Следствием этого могут быть изменения в пищевой базе животных, обитающих в зоне подогрева.

Таблица 2. Концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах водной экосистемы в различных точках наблюдений (вода – Бк/м³; лягушки, рыбы, гидробионты, планктон, грунт – Бк/кг сухой массы)

Table 2. Concentrations of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the components of the aquatic ecosystem at different observation points (water – Bq/m³; frogs, fish, aquatic organisms, plankton, soil – Bq/kg dry weight)

Объект исследования	Радионуклид	ПЛК	Теплый залив	Водоем за 4-м блоком	Рефтинское водохранилище
Вода	^{90}Sr	20 ± 3	12 ± 2	3.3 ± 0.2	12 ± 1
	^{137}Cs	33 ± 1.2	22 ± 6	13 ± 6	17 ± 7
Взрослые лягушки	^{90}Sr	9.7 ± 0.9	10.1 ± 2.1	6.6 ± 0.4	11.1 ± 1.2
	^{137}Cs	18.1 ± 1.7	4.3 ± 0.6	22.3 ± 2.6	20.3 ± 3.0
Сеголетки	^{90}Sr	27.5 ± 2.9	*	*	*
	^{137}Cs	397 ± 86	*	*	*
Головастики	^{90}Sr	14.8 ± 7.2	*	*	*
	^{137}Cs	486 ± 61	*	*	*
Мальки рыб	^{90}Sr	0.8 ± 0.5	*	*	*
	^{137}Cs	5.0 ± 2.3	*	*	*
Карась	^{90}Sr	1.5 ± 0.1	*	*	*
	^{137}Cs	17.3 ± 0.6	*	*	*
Лещ	^{90}Sr	1.7 ± 0.6	*	*	*
	^{137}Cs	8.8 ± 1.8	*	*	*
Рдест гребенчатый	^{90}Sr	15.1 ± 0.8	27.6 ± 6.1	*	4.5 ± 1.5
	^{137}Cs	1228 ± 179	34.5 ± 2.6	*	9.7 ± 2.3
Рдест курчавый	^{90}Sr	66.3 ± 4.7	7.3 ± 3.1	*	*
	^{137}Cs	80	8.0 ± 1.1	*	*
Роголистник	^{90}Sr	*	14.1 ± 1.8	*	*
	^{137}Cs	*	22.3 ± 1.3	*	*
Кладофора	^{90}Sr	21.6 ± 2.2	14.2 ± 2.4	*	7.9 ± 0.9
	^{137}Cs	1156 ± 150	20.3 ± 1.4	30.7 ± 7.8	17.5 ± 5.1
Планктон	^{90}Sr	43.7 ± 2.3	11.0 ± 0.1	*	*
	^{137}Cs	2650 ± 306	57.1 ± 8.8	*	*
Грунт	^{90}Sr	6.4 ± 1.5	2.8 ± 1.3	11.4 ± 2.0	8.3 ± 1.0
	^{137}Cs	81.0 ± 9.0	120.4 ± 8.0	51.6 ± 5.0	8.3 ± 1.9

* Не определяли.

В водоеме за 4-м энергоблоком показатели концентраций ^{137}Cs в тушках животных варьировали от 7 до 52 Бк/кг, а в Рефтинском водохранилище – в еще более широких пределах (от 6 до 912 Бк/кг). В последнем случае, кроме приведенных на рис. 3 данных, три особи лягушек содержали более высокие концентрации радионуклида (101, 229 и 912 Бк/кг), которые не представлены на рисунке. Причина этого не выяснена и может стать предметом специальных исследований.

Исследование содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в озерных лягушках разного пола из ПЛК не выявило

различий в накоплении радионуклидов между самцами и самками. Также установлено, что у взрослых лягушек из ПЛК отсутствует достоверная корреляционная связь между концентрацией ^{90}Sr в организме и возрастом амфибий от 1 года до 4 лет (коэффициент корреляции 0.043) [24]. Статистическая обработка всей совокупности данных показала тенденцию к снижению накопления этого радионуклида с увеличением сухой массы тела (коэффициент корреляции – 0.45).

В табл. 2 представлены сравнительные уровни концентраций ^{90}Sr и ^{137}Cs в различных компонен-

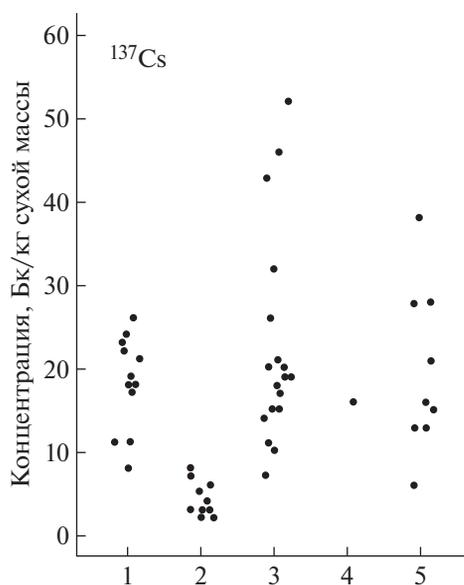


Рис. 3. Концентрации ¹³⁷Cs в лягушках Белоярского и Рефтинского водохранилищ. Обозначения на рис. 2.

Fig. 3. Concentrations of ¹³⁷Cs in frogs of the Beloyarsky and Reftinsky reservoirs. Legend in Fig. 2.

тах исследуемых водных экосистем. В частности, в ПЛК оба радионуклида накапливаются в амфибиях, растениях и планктоне в среднем больше, чем в ихтиофауне. Среди амфибий сеголетки и головастики содержат оба радионуклида в больших концентрациях, чем взрослые лягушки, что возможно связано с относительно большим вкладом планктона в пищевую рацион молодых особей амфибий по сравнению со взрослыми животными. Что касается других местообитаний, то, учитывая индивидуальный разброс концентраций радионуклидов в лягушках, можно считать, что накопление ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs амфибиями и водными растениями существенно не различается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование накопления долгоживущих радионуклидов озерной лягушкой (*Pelophylax ridibundus* Pall.) в водоемах-охладителях Белоярской АЭС и Рефтинской ГРЭС выявило значительную вариабельность индивидуальных концентраций ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs во взрослых животных во всех точках наблюдений.

По ⁹⁰Sr индивидуальные показатели различались более чем в 30 раз, а по ¹³⁷Cs — на несколько порядков величин. Отчасти такие различия могут быть связаны с индивидуальными физиологическими особенностями амфибий, их пищевым предпочтением, а также разнообразием гидрологических и гидрохимических условий в различных акваториях водоемов. Так, в Белоярском во-

дохранилище наряду с местами постоянных слаборадиоактивных и химических сбросов с двух предприятий атомной энергетики (БАЭС и ИРМ) и теплового загрязнения имеются заводы со спокойной и относительно чистой водой в верховье и сильным течением в центральной части водоема. Рефтинское водохранилище также подвергается сильному антропогенному воздействию (тепловому загрязнению при работе ГРЭС, миграции загрязняющих веществ из золоотвалов, от садового хозяйства, птицефабрики и пр.). Исследование влияния разнообразных экологических факторов на накопление радионуклидов озерной лягушкой может стать предметом специальных исследований.

Выше упоминалось, что некоторые особи амфибий отличаются от основной массы животных сравнительно большим накоплением в них цезия. В частности, высокая концентрация ¹³⁷Cs в лягушке из ПЛК (45 000 Бк/кг) по сравнению со средним показателем 9.7 ± 0.9 Бк/кг и присутствии в ней ¹³⁴Cs (441 Бк/кг) вероятнее может быть следствием тесного контакта животного с радиоактивной средой в зоне размещения атомного предприятия (путешествие в радиоактивно загрязненную зону, попадание горячей частицы и др.) [25].

Если исключить из рассмотрения описанный выше отдельный случай превышения средних показателей концентраций ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs в лягушках ПЛК Белоярского водохранилища, можно сделать вывод о том, что в настоящее время в результате функционирования двух энергоблоков на быстрых нейтронах не наблюдается массового загрязнения радионуклидами стронция и цезия амфибий, обитающих в водоеме-охладителе. Это подтверждается приведенными в статье экспериментальными данными, свидетельствующими о том, что средние концентрации радионуклидов в амфибиях Белоярского и контрольного Рефтинского водохранилищ для большинства точек наблюдений статистически не различаются.

БЛАГОДАРНОСТИ

Полевой сбор материала выполнялся при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006) и Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-4-4-28), радиоэкологический анализ и интерпретация результатов исследования — в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трапезников А.В., Юшков П.И., Николкин В.Н. и др. Радионуклиды в экосистеме озера Тыгиш на территории Восточно-Уральского радиоактивного

- следа // Экология. 2003. № 3. С. 184–193. [Trapeznikov A.V., Yushkov P.I., Nikolkin V.N. i dr. Radionuklidy v ehkositeme озера Tygish na territorii Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda // Ehkologiya. 2003. № 3. S. 184–193. (in Russian)]
2. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Изд-во "АкадемНаука", 2008. 400 с. [Trapeznikov A.V., Chebotina M.Ya., Trapeznikova V.N. i dr. Vliyanie AEHS na radioehkologicheskoe sostoyanie vodoema-ohladitelya. Ekaterinburg: Izd-vo "AkademNauka", 2008. 400 s. (in Russian)]
 3. Chen J., Rennie M.D., Sadi B. et al. A study on the levels of radioactivity in fish samples from the experimental lakes area in Ontario, Canada // J. Environ. Radioact. 2016. V. 153. P. 222–230.
 4. Leea S.H., Oha J.S., Leea K.B. et al. Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources // J. Environ. Radioact. 2018. V. 184–185. P. 46–52.
 5. Вершинин В.Л. Амфибии и рептилии Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 227 с. [Vershinin V.L. Amfibiij i reptilii Urala. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. 227 s. (in Russian)]
 6. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 370 с. [Kuz'min S.L. Zemnovodnye byvshego SSSR. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2012. 370 s. (in Russian)]
 7. Топоркова Л.Я., Боголюбова Т.В., Хафизова Р.Т. и др. К экологии озерной лягушки, индуцированной в водоемы горно-таежной зоны Среднего Урала // Фауна Урала и Европейского Севера. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1979. С. 108–115. [Toporkova L.Ya., Bogolyubova T.V., Hafizova R.T. i dr. K ehkologii ozernoj lyagushki, inducirovannoj v vodoemy gorno-taehznoj zony Srednego Urala // Fauna Urala i Evropejskogo Severa. Sverdlovsk: Izd-vo Ural. gos. un-ta, 1979. S. 108–115. (in Russian)]
 8. Иванова Н.Л. Озерная лягушка (*Rana ridibunda* Pall.) в водоемах-охладителях на Среднем Урале // Экология. 2002. № 2. С. 137–141. [Ivanova N.L. Ozernaya lyagushka (*Rana ridibunda* Pall.) v vodoemah-ohladitelyah na Srednem Urale // Ehkologiya. 2002. № 2. S. 137–141. (in Russian)]
 9. Вершинин В.Л., Иванова Н.Л. Специфика трофических связей вида-вселенца – *Rana ridibunda* Pallas, 1771 в зависимости от условий местообитаний // Поволжский экол. журн. 2006. № 2/3. С. 119–128. [Vershinin V.L., Ivanova N.L. Specifika troficheskikh svyazej vida-vselenca – *Rana ridibunda* Pallas, 1771 v zavisimosti ot uslovij mestoobitanij // Povolzhskij ehkologicheskij zhurnal. 2006. № 2/3. S. 119–128. (in Russian)]
 10. Иванова Н.Л., Жигальский О.А. Демографические особенности популяций озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.), интродуцированной в водоемы Среднего Урала // Экология. 2011. № 5. С. 361–369. [Ivanova N.L., Zhigal'skij O.A. Demograficheskie osobennosti populjacij ozernoj lyagushki (*Rana ridibunda* Pall.), introducirovannoj v vodoemy Srednego Urala // Ehkologiya. 2011. № 5. S. 361–369. (in Russian)]
 11. Динь В.Х. Пресервы, стерилизованные консервы из мяса озерной лягушки // Журн. "Естественные Науки". Астрахань, 2014. № 4. С. 109–115. [Din' V.H. Preservy, sterilizovannye konservy iz myasa ozernoj lyagushki // Zhurn. "Estestvennye Nauki". Astrahan'. 2014. № 4. S. 109–115. (in Russian)]
 12. Динь В.Х. Обоснование и разработка рациональной технологии переработки лягушки *RANA RIDIBUNDA*: Дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2015. 133 с. [Din' V.H. Obosnovanie i razrabotka racional'noj tekhnologii pererabotki lyagushki *RANA RIDIBUNDA*: Dis. ... kand. tekhn. nauk, Astrahan', 2015. 133 s. (in Russian)]
 13. Abdulali H. On the export of frog legs from India // J. Bombay Natural Histor. Society. 1985. P. 347–375.
 14. Mirzaj A. Biological evaluation of the frog species of *Rana ridibunda* in Anzali Lagoon for consumption and export // Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), 2003. P. 1–20.
 15. Matsushima N., Ihara S., Takase M. et al. Assessment of radium contamination in frogs 18 months after the Fukushima Daiichi nuclear disaster // Sci. Rep. 2015. V. 5. P. 1–6.
 16. Stark K., Avila R., Wallberg P. Estimation of radiation doses from ¹³⁷Cs to frogs in a wetland ecosystem // J. Environ. Radioact. 2004. V. 75. P. 1–14.
 17. Stark K. Risk from radionuclides: a frog's perspective. Accumulation of ¹³⁷Cs 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.
 18. Пястолова О.А., Вершинин В.Л., Трубецкая Е.А. и др. Использование амфибий в биоиндикационных исследованиях территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. 1996. № 5. С. 378–382. [Pyastolova O.A. Vershinin V.L., Trubeckaya E.A. i dr. Ispol'zovanie amfibij v bioindikacionnyh issledovaniyah territorii Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda // Ehkologiya. 1996. № 5. S. 378–382. (in Russian)]
 19. Вершинин В.Л. Специфика жизненного цикла *R. arvalis* Nills. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Сибирский экол. журн. 2007. Вып. 4. С. 677–682. [Vershinin V.L. Specifika zhiznennogo cikla *R. arvalis* Nills. na territorii Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda // Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. 2007. Vyp. 4. S. 677–682. (in Russian)]
 20. Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Изд-во "АкадемНаука", 2008. 400 с. [Trapeznikov A.V., Chebotina M.Ya., Trapeznikova V.N. i dr. Vliyanie AEHS na radioehkologicheskoe sostoyanie vodoema-ohladitelya. Ekaterinburg: Izd-vo "AkademNauka", 2008. 400 s. (in Russian)]
 21. Вода России – Рефтинское водохранилище (В.Ф. Мухутдинов, <http://water-rf.ru> ... Версия от 5 ноября 2018). [Voda Rossii – Reftinskoe vodohranilishche (V.F. Muhutdinov, <http://water-rf.ru> ... Versiya ot 5 noyabrya 2018) (in Russian)]
 22. Большаков В.Н., Иванова Н.Л. Озерная лягушка (*Rana ridibunda* Pall.) как объект мониторинга во-

- доема-охладителя Рефтинской ГРЭС // Изв. Оренбургского аграр. ун-та. 2013. № 1. С. 245–247. [Bol'shakov V.N., Ivanova N.L. Ozernaya lyagushka (*Rana ridibunda* Pall.) kak ob"ekt monitoringa vodoe-ma-ohladiatelya Reftinskoj GREHS // Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo universiteta. 2013. № 1. S. 245–247. (in Russian)]
23. Иванова Н.Л. Характер и темпы роста озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* Pall., интродуцированной в водоемы Среднего Урала // Изв. РАН. Сер. биол. 2017. № 4. С. 413–417. [Ivanova N.L. Charakter i tempy rosta ozernoj lyagushki *Pelophylax ridibundus* Pall., introducirovannoj v vodoemy Srednego Urala // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya. 2017. № 4. S. 413–417. (in Russian)]
24. Гусева В.П., Чеботина М.Я., Ищенко В.Г., Берзин Д.Л. Накопление радионуклидов амфибиями (*Pelophylax ridibundus* Pall.), обитающими на Среднем Урале // Сибирский экол. журн. 2017. № 1. С. 99–106. [Guseva V.P., Chebotina M.Ya., Ishchenko V.G., Berzin D.L. Nakoplenie radionuklidov amfibiyaми (*Pelophylax ridibundus* Pall.), obitayushchimi na Srednem Urale // Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. 2017. № 1. S. 99–106. (in Russian)]
25. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии. Томск: STT, 2009. 430 с. [Rihvanov L.P. Radioaktivnye ehlementy v okruzhayushchej srede i problemy radioehkologii. Tomsk: STT, 2009. 430 s. (in Russian)]

Accumulation of Long-lived Radionuclides by the Marsh Frog in the Cooling Pond of the Beloyarsky NPP

M. Ya. Chebotina^{a,#}, V. P. Guseva^a, and D. L. Berzin^a

^a Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

[#]E-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

The study of the accumulation of anthropogenic radionuclides ⁹⁰Sr, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs in the lake frog of the Beloyarsky reservoir and the reference water body (Reftinsky reservoir) was carried out. A considerable variability of indices of individual concentrations of radionuclides in adult amphibians of the studied water bodies was established (⁹⁰Sr – more than 30 times, ¹³⁷Cs – by several orders of magnitude). An anomalously high contamination of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs of one frog from the industrial channel of the Beloyarsky reservoir was detected, which could be the result of contact of an animal with a radioactive environment in the area of the nuclear plant. It is shown that at present, as a result of the operation of 2 fast-neutron power units, there is no mass contamination of the amphibians living in the Beloyarsky reservoir with radionuclides ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs.

Keywords: lake frog, Beloyarsky reservoir, nuclear power plant, Reftinsky reservoir, ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs radionuclides, hydrobionts, concentrations