

УДК 597.851:550.47(285.2:470.54)

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКИ *Pelophylax ridibundus* В ОЗЕРАХ АЛАБУГА И КУЯШ

© 2025 г. М. Я. Чеботина<sup>а,\*</sup>, В. П. Гусева<sup>а</sup>, Д. Л. Берзин<sup>а,\*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт экологии растений и животных, Уральское отделение Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

\*e-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

\*\*e-mail: smithbdl@rambler.ru

Поступила в редакцию 23.12.2024 г.

После доработки 26.03.2025 г.

Принята к публикации 27.03.2025 г.

Изучены уровни накопления долгоживущих радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в озерной лягушке *Pelophylax ridibundus* Pall., 1771, обитающей в озерах Алабуга и Куяш, расположенных на периферийной зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС). Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в лягушках оз. Алабуга варьирует от 50 до 200 Бк/кг, в оз. Куяш — от 100 до 320 Бк/кг сухой массы животных. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках оз. Алабуга и Куяш изменяется от 5 до 35 и от 35 до 145 Бк/кг сухой массы соответственно. Сравнение уровней концентраций исследованных радионуклидов в однотипных компонентах изученных оз. на территории ВУРСа и водоемов Среднего Урала показало, что содержание  $^{90}\text{Sr}$  в лягушках оз. Алабуга и Куяш в расчете на сырую массу тела не превышает уровень вмешательства для рыбы согласно принятым нормативам (СанПиН от 15.04.2003 г.)

**Ключевые слова:** озерная лягушка, озера Алабуга и Куяш, радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , концентрации, компоненты водоема

**DOI:**

### ВВЕДЕНИЕ

Озерные лягушки — один из широко распространенных видов амфибий оз. и рек — населяют обширную территорию мира (Вершинин, 2007а). Они достаточно толерантны к химическим загрязнениям и повышенной температуре водной среды, однако излюбленным местом их обитания служат зоны подогрева тепловых и атомных электростанций, где создаются благоприятные условия для жизни и размножения в течение всего года. В регионах с высокой антропогенной нагрузкой на природные комплексы из-за присутствия в них тяжелых металлов, естественных и искусственных радионуклидов, последствий радиоактивного и химического загрязнения территорий в условиях урбанизации и аварийных ситуаций лягушки могут рассматриваться в качестве индикаторов экологического состояния природной среды (Jagoe et al., 2002; Stark et al., 2004; Matsushima et al., 2015;).

Интерес к экологической специфике и химическому составу тканей лягушек частично вызван их использованием для производства пищевой продукции в ряде стран мира (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 (Mirzaj, 2003; Динь, 2014, 2015).

Радиоэкологические исследования лягушек ограничиваются незначительным количеством работ. В работе (Matsushima et al., 2015) 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. В работах (Stark et al., 2004; Stark, 2006) исследовано накопление радионуклидов в остромордых лягушках *Rana arvalis* Nilsson, 1842, обитающих в заболоченных экосистемах центрально-восточной части Швеции через 17 лет после Чернобыльской аварии. Показано, что средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках была  $1.7 \pm 1.1$  кБк/кг сырой массы, при этом наиболее высокие значения отмечены для самых мелких особей (3.5 кБк/кг сырой массы). Выявлены изменения в популяционной структуре, физиологических и генетических отличиях лягушек, обитающих на радиоактивно загрязненных территориях в зоне ПО «Маяк», по сравнению с контрольным регионом (Пястолова, Вершинин, 1996; Вершинин, 2007б).

**Сокращения:** ВУРС — Восточно-Уральский радиоактивный след.

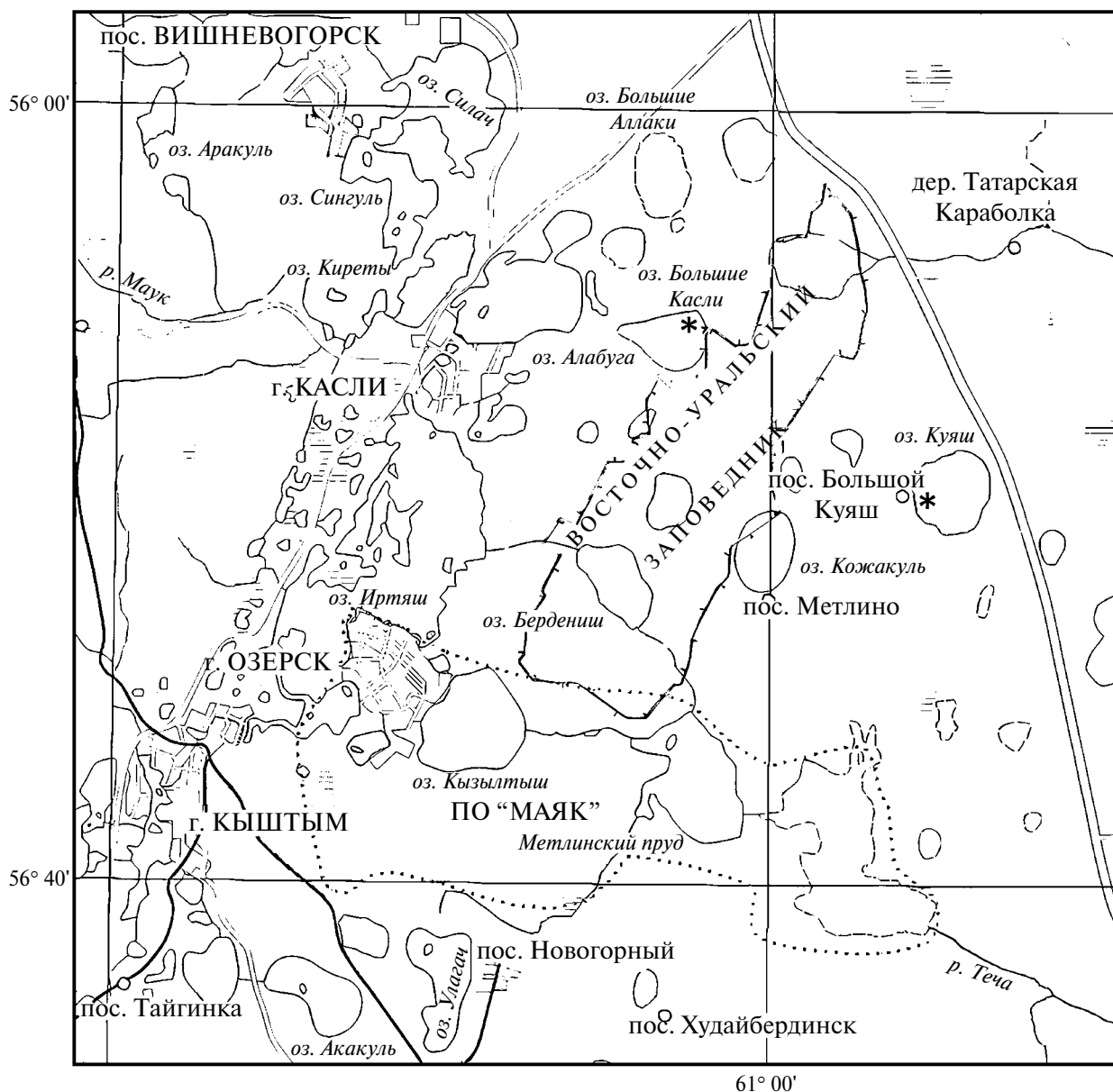


Рис. 1. Карта-схема расположения озер Алабуга и Куяш относительно Восточно-Уральского заповедника и Карачевского следа. \* — места отбора проб.

Цель настоящей работы — исследовать современные уровни накопления  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  лягушкой *Pelophylax ridibundus* в озерах Алабуга и Куяш, расположенных в периферийной части ВУРС.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали взрослых особей и сеголетков озерной лягушки и другие компоненты водной экосистемы: воду, растения, рыбу, грунт из озер Алабуга и Куяш. Расположение озер и точек отбора проб относительно территории Восточно-Уральского радиоактивного следа дано на рис. 1.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://travelask.ru/blog/posts/15203-radioaktivnyy-zapovednik-naturalno-pochemu-turisty-syuda-pora>. Дата обращения 02.06.2025 г.

Озеро Алабуга находится на западной границе зоны ВУРС, которая проходит вдоль восточного берега озера. Озерная котловина приурочена к границе предгорного разлома на восточном краю Зауральского пенеплена, юго-западная часть озерной котловины расположена среди третичных отложений, на северо-западе к ней примыкают граниты. Водоем является частью цепи предгорных зауральских озер Каслинско-Кыштымской системы и по происхождению относится к группе эрозионно-тектонических. Имеет форму капли, узкой частью обращенной на запад, протокой соединяется с озером Большие Касли. Берега пологие, слабоизрезанные, в основной части покрыты лесом. Дно озера ровное, грунты в прибрежной

зоне песчаные, переходящие в торфянистый ил с массой полуразложившихся растительных остатков. Площадь 8.6 км<sup>2</sup>, глубина 3–5 м, прозрачность воды 1.5–2 м. Часть озера заболочена. Из растений встречаются камыш, рогоз, тростник, кувшинка, рдест, мох, кладофора, из рыб – карп, белый амур, толстолобик, карась, окунь, чебак, щука (Смагин и др., 2011).

Озеро Куяш расположено с восточной стороны заповедника на расстоянии ~36 км от эпицентра взрыва. Озеро имеет округлую форму диаметром ~4 км. Котловина водоема эрозионно-тектонического происхождения, берега пологие. Местность вокруг равнинная, ландшафт лесостепной. Водосборная площадь представлена лугами, пастбищами и лиственными колками. Водоем питается от грунтовых вод и атмосферных осадков, на дне озера много ключей. Во время половодья озеро имеет периодический сток через ручей, пересыхающий в межень, в р. Темряс, которая впадает в р. Караболка. Площадь водоема 12 км<sup>2</sup>, объем водной массы 42.5 млн м<sup>3</sup>, средняя глубина 3–4 м. Донные отложения представлены песчаными, илистыми и сапропелевыми грунтами. Из растений в озере встречаются рогоз, тростник, рдест, камыш и др., ихтиофауна представлена разнообразными видами рыб (окунь, ерш, плотва, карась, щука, линь, язь, карп, сиг), встречаются также раки.<sup>2</sup>

Материал собирали в июле 2023 г. Взрослых лягушек и сеголетков ловили при помощи сачка, после чего животных усыпляли с применением трикаинметансульфата (буферизованный MS-222). Растения и рыбу отбирали в трех повторностях, каждая из которых была 2–3 кг. Грунт отбирали пробоотборником на глубину 0–5 см от его поверхности. Пробы воды отбирали в двух повторностях по 70 л в каждой точке наблюдений и подкисляли соляной кислотой. В лаборатории лягушек взвешивали, определяли длину, пол и принадлежность к морфе *striata*. Все пробы после высушивания и озоления при температуре 450°C анализировали на содержание в них радионуклидов. Концентрацию в пробах золы определяли радиохимическим методом (Трапезников и др., 2008). Радиометрию полученных осадков для определения концентрации <sup>90</sup>Sr проводили на малофоновой установке УМФ-2000 (Россия) при статистической ошибке счета 10–15%. Концентрацию <sup>137</sup>Cs определяли с помощью многоканальных γ-анализаторов фирмы “Canberra-Packard” и “ORTEC” (США) при ошибке измерений ≤10–20%. При проведении радиометрии некоторые пробы лягушек объединяли по половому признаку и массе тела для повышения точности определений.

При статистической обработке данных использовали пакет прикладных программ Statistica v. 6.0, StatSoft,

2001 (США), лицензия № AXXR003A622407FAN8. Полученные первичные данные проверяли на нормальность распределения по критериям Шапиро–Уилка, Лиллиефорса, Колмогорова–Смирнова. В большинстве случаев распределение отличалось от нормального либо выборка была недостаточной для проверки на нормальность, поэтому для обработки данных использовали непараметрический критерий Манна–Уитни (*U*). При проведении статистической обработки всех данных критерием Манна–Уитни приводили значение критерия *z* для пересчета *U* на стандартное нормальное распределение. Различия считали значимыми при *p* < 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получены данные по размерам и массе тела озерной лягушки в исследованных водоемах (табл. 1). В оз. Алабуга лягушки имеют достоверно большую массу и длину тела по сравнению с таковыми из оз. Куяш (*z* = 4.89, *p* < 0.001 и *z* = 5.31, *p* < 0.001 соответственно). В обоих водоемах преобладающее большинство лягушек относится к морфе *striata* (в оз. Алабуга – 72%, в оз. Куяш – 91%).

Индивидуальные значения концентраций радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs во взрослых лягушках исследованных озер показали (рис. 2), что концентрации каждого радионуклида характеризуются заметной вариабельностью. Содержание <sup>90</sup>Sr в лягушках озер Алабуга и Куяш варьирует от 50 до 200 и от 100 до 320 Бк/кг сухой массы; концентрация <sup>137</sup>Cs – от 5 до 35 и от 35 до 140 Бк/кг соответственно. Среднее содержание каждого из исследованных радионуклидов в лягушках, обитающих в оз. Куяш (216 ± 10 и 73 ± 7), заметно выше, чем в оз. Алабуга (107 ± 9 и 20 ± 5 Бк/кг для <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs соответственно). Статистическая обработка полученных результатов показала высокий уровень достоверных различий в накоплении <sup>90</sup>Sr (*z* = 4.99, *p* < 0.001) и <sup>137</sup>Cs (*z* = 4.38, *p* < 0.001) озерной лягушкой в оз. Куяш по сравнению с оз. Алабуга. Различий в накоплении радионуклидов самцами и самками в совокупности по обоим озерам не выявлено (по <sup>90</sup>Sr: *z* = –1.02, *p* = 0.31; по <sup>137</sup>Cs: *z* = 0.68, *p* = 0.49). Радионуклид <sup>134</sup>Cs во всех пробах не обнаружен.

Получены данные концентраций <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в озерной лягушке и других компонентах среды ее обитания в оз. Алабуга (табл. 2). Выявлено, что концентрации исследуемых радионуклидов в воде на порядки величин ниже уровня вмешательства (5 Бк/л по <sup>90</sup>Sr и 11 Бк/л по <sup>137</sup>Cs). Среди всех обследованных компонентов водоема повышенное содержание <sup>90</sup>Sr отмечено для прудовика, беззубки, мха, кладофоры и чебака, а <sup>137</sup>Cs – для мха, кладофоры илистого грунта. Статистическая обработка показала достоверно большее накопление <sup>90</sup>Sr относительно <sup>137</sup>Cs во всех исследованных компонентах этого водоема кроме грунта,

<sup>2</sup> [http://reki-ozera.ru/rybalka\\_v\\_chelyabinskoy\\_obl/ozers/109275-kuyash.html](http://reki-ozera.ru/rybalka_v_chelyabinskoy_obl/ozers/109275-kuyash.html). Дата обращения 02.06.2025 г.

Таблица 1. Характеристика озерной лягушки в местах отбора проб

Озеро	Координаты		n		L	m	
	с.ш.	в.д.	♀	♂		сырая	сухая
Алабуга	55°54'59"	60°55'53"	18	22	$\frac{75.1 \pm 1.8}{55-104}$	$\frac{43.1 \pm 3.5}{7-111}$	$\frac{12.5 \pm 1.1}{4.8-31.8}$
Куяш	55°49'11"	61°07'40"	45	37	$\frac{62.6 \pm 1.0}{48-91}$	$\frac{23.1 \pm 1.4}{11-72}$	$\frac{5.2 \pm 0.4}{2.2-18.1}$

Примечание. n – число особей; L – длина тела, мм; m – масса, г; над чертой – среднее значение и его ошибка, под чертой – min–max.

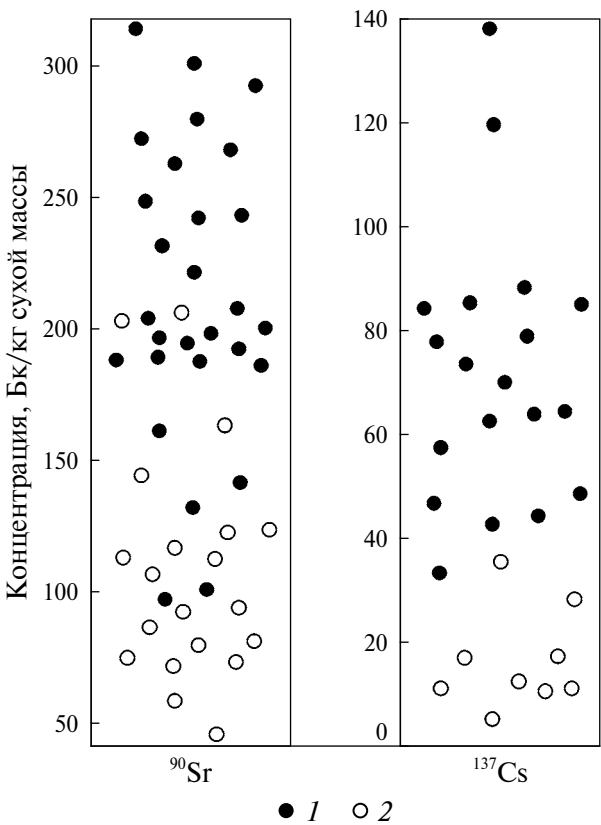


Рис. 2. Уровни концентраций <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs во взрослых лягушках озер Куяш (1) и Алабуга (2).

где различия в накоплении этих радионуклидов недостоверны.

В оз. Куяш содержание <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в воде также значительно ниже уровня вмешательства (табл. 3). Повышенные концентрации <sup>90</sup>Sr наблюдали в харовой водоросли и кладофоре, <sup>137</sup>Cs – в кладофоре, раковине прудовика и грунте. В остальных компонентах водоема, в том числе в лягушках, содержание этого радионуклида не превышало 110 Бк/кг. Статистическая обработка показала, что во всех исследованных компонентах этого озера <sup>90</sup>Sr содержится больше, чем <sup>137</sup>Cs.

Сравнение содержания радионуклидов в однотипных компонентах исследуемых озер (табл. 2, 3)

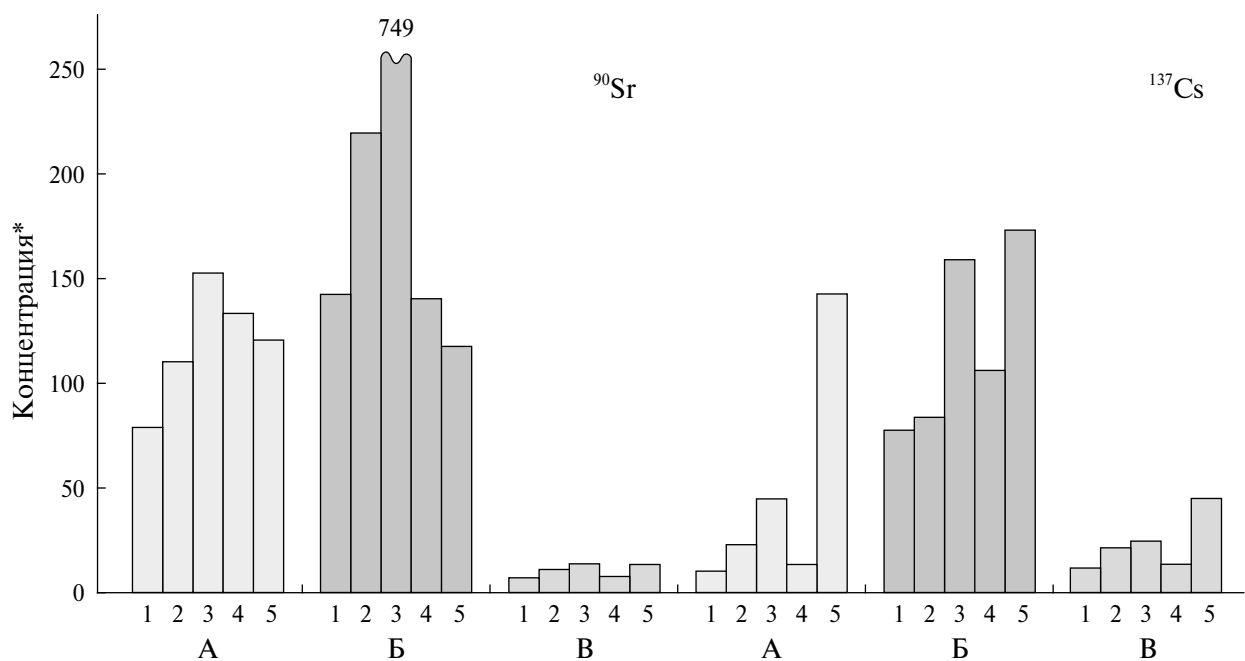
Таблица 2. Концентрации радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs и результаты статистической обработки данных в компонентах водной экосистемы оз. Алабуга

Объект	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	z	p
Лягушки:				
взрослые	107 ± 9	20 ± 5	4.66	0.001
сеголетки	57*	37*	–	–
Вода	0.077 ± 0.002	0.009 ± 0.002	1.73	0.050
Мох				
фонтиналис	329 ± 17	75 ± 5	1.73	0.050
Кладофора	153 ± 4	39 ± 3	1.96	0.050
Тростник	15*	9*	–	–
Рдест				
гребенчатый	85 ± 8	8 ± 1	1.96	0.050
Окунь	130 ± 7	13 ± 2	2.5	0.010
Чебак	174 ± 31	17 ± 2	2.32	0.020
Прудовик	1178 ± 26	21 ± 3	1.73	0.040
Беззубка	417 ± 29	10 ± 4	1.73	0.030
Грунт	120 ± 39	143 ± 5	0.73	0.460

Примечание. Единицы измерения показателей: вода – Бк/л, остальные компоненты водоемов – Бк/кг сухой массы. Даны средние значения и их ошибки. \*Объединенные пробы; “–” – данные отсутствуют.

выявило достоверное превышение концентраций <sup>90</sup>Sr в оз. Куяш по сравнению с оз. Алабуга по воде (z = 2.32, p = 0.02), лягушкам (z = 4.99, p < 0.001), кладофоре (z = 2.5, p = 0.012) и рдесту гребенчатому (z = 2.5, p = 0.012), а <sup>137</sup>Cs – по воде (z = 1.73, p = 0.008), лягушкам (z = 4.38, p < 0.001), кладофоре (z = 1.96, p = 0.040), рдесту гребенчатому (z = 1.97, p = 0.041). В остальных однотипных компонентах озер (окуне, чебаке, грунте) достоверных различий в накоплении радионуклидов не обнаружено.

На рис. 3 представлены усредненные данные концентраций <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в компонентах озер Алабуга и Куяш, расположенных на периферии Восточно-Уральского радиоактивного следа, по сравнению с полученными ранее данными по



**Рис. 3.** Уровни концентраций радионуклидов в компонентах озер Алабуга (А) и Куяш (Б) по сравнению с усредненными значениями концентраций для однотипных компонентов водоемов Среднего Урала (В). Компоненты водоемов: 1 – вода; 2 – взрослые лягушки; 3 – кладофора; 4 – окунь; 5 – грунт. \*Концентрации: вода – Бк/м<sup>3</sup>; остальные компоненты – Бк/кг сухой массы.

**Таблица 3.** Концентрации радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs и результаты статистической обработки данных в компонентах водной экосистемы оз. Куяш

Объект	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	z	p
Взрослые лягушки	216 ± 10	73 ± 7	5.58	0.001
Вода	0.143 ± 0.006	0.067 ± 0.009	2.32	0.020
Кладофора	749 ± 11	155 ± 11	2.53	0.011
Харовая водоросль	1180 ± 24	107 ± 7	1.93	0.045
Рдест гребенчатый	259 ± 3	97 ± 9	1.96	0.049
Рдест пронзеннолистный	238 ± 10	110 ± 14	–	–
Окунь	145 ± 6	103 ± 11	2.32	0.020
Чебак	181 ± 5	59 ± 14	1.96	0.049
Раковина прудовика	Не опр.	425 ± 61	–	–
Грунт	119 ± 9	170 ± 11	–2.49	0.012

Примечание. Единицы измерения показателей: вода – Бк/л, остальные – Бк/кг сухой массы; данные отсутствуют.

водоемам Среднего Урала, не подверженным локальному радиоактивному загрязнению (Чеботина и др., 2024). Результаты статистической обработки этих данных (табл. 4) показали, что концентрация <sup>90</sup>Sr в компонентах обоих озер достоверно превышала таковую в водоемах Среднего Урала. Концентрация <sup>137</sup>Cs в компонентах оз. Куяш (за исключением грунта, p = 0.056) была

**Таблица 4.** Результаты статистической обработки данных по содержанию <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в компонентах озер Алабуга (над чертой) и Куяш (под чертой) относительно их содержания в водоемах Среднего Урала

Радионуклид	Компонент экосистемы	z	p
<sup>90</sup> Sr	Вода	<u>–2.81</u> 3.89	<u>0.004</u> 0.001
	Взрослые лягушки	<u>–7.7</u> 8.81	<u>0.001</u> 0.001
	Кладофора	<u>–2.83</u> 4.55	<u>0.047</u> 0.001
	Окунь	<u>–4.28</u> 3.67	<u>0.001</u> 0.002
	Грунт	<u>–3.82</u> 4.50	<u>0.001</u> 0.001
	Вода	<u>0.95</u> 2.53	<u>0.340</u> 0.011
	Взрослые лягушки	<u>–1.59</u> 6.78	<u>0.110</u> 0.001
	Кладофора	<u>–1.81</u> 2.45	<u>0.070</u> 0.014
<sup>137</sup> Cs	Окунь	<u>–1.71</u> 1.96	<u>0.090</u> 0.049
	Грунт	<u>–3.21</u> 2.77	<u>0.012</u> 0.056

достоверно выше по сравнению с водоемами Среднего Урала. Однако различия в концентрациях  $^{137}\text{Cs}$  для сравниваемых компонентов оз. Алабуга и водоемов Среднего Урала оказались незначительными за исключением грунта ( $p = 0.012$ ).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как отмечали выше, исследуемые водоемы расположены в зоне воздействия ПО “Маяк”, на территории, подверженной двум радиационным авариям. Первая авария произошла в 1957 г. в результате взрыва емкостей для хранения высоко-радиоактивных отходов (Кыштымская авария). Распространение радиоактивных веществ в северо-восточном направлении привело к образованию Восточно-Уральского радиоактивного следа длиной 300 км и шириной 20–40 км. Основную долю радиоактивности составляли короткоживущие радионуклиды  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  при относительно небольшом вкладе долгоживущего  $^{90}\text{Sr}$ . Вторая авария (1967 г.) была следствием ветрового разноса пылеобразных радиоактивных веществ с поверхности оз. Карачай, что привело к образованию Карачаевского следа с преимущественным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  (48%) (Снакин и др. 2012; Мансурова и др., 2021; Атлас..., 2013). Радиоактивное загрязнение оз. Алабуга произошло преимущественно за счет Кыштымской аварии, на загрязнение оз. Куяш оказали влияние оба следа. В более, чем 60-летний период после аварии, радиоактивное загрязнение территории снизилось за счет процессов радиоактивного распада и миграции радиоактивных элементов на прилегающие территории. В настоящее время встал вопрос о возврате части территорий в хозяйственное использование.

Полученные нами данные свидетельствуют, что на момент исследования компоненты озер Алабуга и Куяш оказались в большей степени обогащенными  $^{90}\text{Sr}$  относительно  $^{137}\text{Cs}$ . Исключение — илистый грунт, характеризующийся небольшим превышением концентрации  $^{137}\text{Cs}$  относительно  $^{90}\text{Sr}$ . Вода озер Алабуга и Куяш по содержанию обоих радионуклидов значительно ниже уровня вмешательства (5 и 11 Бк/л для  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  соответственно) согласно нормам радиационной безопасности,<sup>3</sup> что позволяет ее использовать для хозяйственно-бытовых целей. В то же время в результате исследования содержания радионуклидов во взрослых лягушках было зарегистрировано повышенное радиоактивное загрязнение этих амфибий в обоих водоемах. В частности, взрослые лягушки из оз. Куяш содержат в среднем в 28 раз больше  $^{90}\text{Sr}$  и в 5.5 раз больше

$^{137}\text{Cs}$  по сравнению с аналогичными животными, обитающими в водоемах Среднего Урала, не подверженных дополнительному загрязнению от предприятий атомной энергетики. В оз. Алабуга аналогичные различия составляют 14 и 1.3 раза соответственно. В то же время установлено, что взрослые лягушки в оз. Куяш содержат больше  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  таковых в оз. Алабуга. Причиной может быть дополнительный вклад Карачаевского следа, захватившего южную часть оз. Куяш, тогда как оз. Алабуга находится за его пределами.

Поскольку озерные лягушки во всем мире широко используются для пищевых целей, а нормативы допустимого уровня радиоактивного загрязнения для них отсутствуют, считаем возможным полученные нами данные по накоплению в них  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  сравнить с соответствующими показателями для рыб. Согласно постановлению<sup>4</sup> при определенном уровне потребления пищевой продукции, удельной активности радионуклида в ней и при соблюдении нормативов допустимый уровень содержания  $^{90}\text{Sr}$  в рыбе составляет 100 Бк/кг, а  $^{137}\text{Cs}$  — 130 Бк/кг сырой массы. По данным (Смагин и др., 2011), превышение допустимого уровня содержания этих радионуклидов в некоторых видах рыб обнаружено в оз. Кожаккуль, расположенном на юго-восточной границе ВУРС. В нашей работе средняя концентрация  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в лягушках оз. Алабуга в расчете на сырую массу составляет 31 (15–58) и 6 (2–10) Бк/кг, а в оз. Куяш — 48 (22–71) и 16 (8–31) Бк/кг соответственно. Эти показатели находятся ниже допустимого уровня, согласно установленным нормативам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в лягушках озер Алабуга и Куяш, расположенных на периферийной границе ВУРС, варьируют от 50 до 200 Бк/кг и от 100 до 320 Бк/кг, а  $^{137}\text{Cs}$  — от 5 до 35 и от 35 до 145 Бк/кг сухой массы соответственно. Статистическая обработка полученных результатов показала превышение концентраций  $^{90}\text{Sr}$  ( $p < 0.001$ ) и  $^{137}\text{Cs}$  ( $p < 0.001$ ) в лягушках оз. Куяш по сравнению с оз. Алабуга. Различий в накоплении радионуклидов самцами и самками в совокупности по обоим озерам не выявлено (по  $^{90}\text{Sr}$ :  $p = 0.31$ ; по  $^{137}\text{Cs}$ :  $p = 0.49$ ). Вода озер Алабуга и Куяш по содержанию обоих радионуклидов значительно ниже уровня вмешательства согласно нормам радиационной безопасности,<sup>3</sup> что позволяет ее использовать для хозяйственно-бытовых целей. Выявлены повышенные концентрации  $^{90}\text{Sr}$  во взрослых лягушках в озерах Алабуга и Куяш

<sup>3</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. 2009. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

<sup>4</sup> СанПин от 14.11.2001 г. СанПиН 2.3.2.1078-01 “Гигиенические требования к безопасности пищевых продуктов” утв.: Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 36 от 14.11.2001 г. (в ред. от 15.04.2003). Приложение 1.

по сравнению с этими животными, обитающими в водоемах Среднего Урала, не подверженных дополнительному радиоактивному загрязнению. Уровни концентраций исследуемых радионуклидов в лягушках обоих озер значительно ниже допустимого предела для рыбной продукции, согласно установленным нормативам.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № 122021000077-6 и № 122021000082-0

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 г. 2013. М: ИГКЭ Госгидромета и РАН, Фонд “Инфосфера” — НИА Природа.
- Вершинин В.Л. 2007а. Амфибии и рептилии Урала. Екатеринбург: УрО РАН.
- Вершинин В.Л. 2007б. Специфика жизненного цикла *R. arvalis* Nills. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Сиб. экол. журн. Вып. 4. С. 677.
- Динь В.Х. 2014. Пресервы, стерилизованные консервы из мяса озерной лягушки // Журн. “Естественные Науки”. № 4. С. 109.
- Динь В.Х. 2015. Обоснование и разработка рациональной технологии переработки лягушки *Rana ridibunda*: Дис .... канд. техн. наук. Астрахань. 133 с.
- Мансурова А.С., Дорофеева Т.А., Антонов С.И. 2021. Анализ Кыштымской ядерной катастрофы 1957 года: причины, последствия и принципы ликвидации аварии // Сб. статей VI Междунар. науч.-практ. конф. “Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения” 8–9 апреля 2021 г. Екатеринбург: УГМИ. С. 957.
- Пястолова О.А. Вершинин В.Л., Трубецкая Е.А. и др. 1996. Использование амфибий в биоиндикационных исследованиях территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. № 5. С. 378.
- Снакин В.В., Василенко В.Н., Артемов Е.М. и др. 2012. Формирование радиоактивного загрязнения на Южном Урале // Жизнь земли. Т. 34. С. 213.
- Смагин А.И., Дмитриева А.В., Тарасов А.В. и др. 2011. Исследование радиоэкологических особенностей озера Кашакуль // Вопросы радиационной безопасности. № 2. С. 44.
- Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др. 2008. Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Академнаука.
- Чеботина М.Я., Гусева В.П., Берзин Д.Л. 2024. Радиоэкологические исследования озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) в водоемах Среднего Урала // Биология внутр. вод. Т. 17. № 3. С. 469. <https://doi.org/10.31857/S0320965224030111>
- Jagoe C.H., Majeske A.J., Oleksyk T.K. et al. 2002. Radiocesium concentrations and DNA strand breakage in two species of amphibians from the Chernobyl exclusion zone // Radioprotection. V. 37. no. C1. P. 873. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2002217>
- Matsushima N., Ihara S., Takase M. et al. 2015. Assessment of radiocesium contamination in frogs 18 months after the Fukushima Daiichi nuclear disaster // Scientific Reports. V. 5. P. 1. <https://doi.org/10.038/srep09712>
- Mirzaj A. 2003. Biological evaluation of the frog species of *Rana ridibunda* in Anzali Lagoon for consumption and export // Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO). P. 1.
- Stark K., Avila R., Wallberg P. 2004. Estimation of radiation doses from <sup>137</sup>Cs to frogs in a wetland ecosystem // J. Environ. Radioactivity. V. 75. P. 1. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2003.12.011>
- Stark K. 2006. Risk from radionuclides: a frog's perspective. Accumulation of <sup>137</sup>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.

## Radioecological Study of the Lake Frog *Pelophylax ridibundus* in the Lakes Alabuga and Kuyash

M. Ya. Chebotina<sup>1, \*</sup>, V. P. Guseva<sup>1</sup>, D. L. Berzin<sup>1, \*\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

\*e-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

\*\*e-mail: smithbdl@rambler.ru

The accumulation levels of long-lived radionuclides <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in the marsh frog *Pelophylax ridibundus* Pall., 1771 inhabiting the lakes Alabuga and Kuyash located in the peripheral zone of the East Ural Radioactive Trace (EURT) were studied. It was shown that the concentration of <sup>90</sup>Sr in the frogs of Lake Alabuga varies from 50 to 200 Bq/kg, and in Lake Kuyash — from 100 to 320 Bq/kg of dry weight of animals. The content of <sup>137</sup>Cs in the frogs of Lakes Alabuga and Kuyash varies from 5 to 35 and from 35 to 145 Bq/kg of dry weight, respectively. A comparison was made of the concentration levels of the studied radionuclides in the same type of components of the studied lakes in the EURT territory and water bodies of the Middle Urals. It has been shown that the content of <sup>90</sup>Sr in frogs from lakes Alabuga and Kuyash, calculated on a wet body weight basis, does not exceed the intervention level for fish according to the accepted standards (SanPiN of 15.04.2003).

**Keywords:** Lake frog, lakes Alabuga and Kuyash, radionuclides <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs, concentrations, components of the reservoir