

УДК 556.114.679:613.472:639.1.055.36(476.2)

## Накопление и распределение по органам и тканям долгоживущих радионуклидов $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ в организме пресноводных рыб, обитающих в водоемах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

Д.Н. ИВАНЦОВ<sup>1</sup>, А.В. ГУЛАКОВ<sup>2</sup>

Представлены данные о содержании и распределении  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по органам и тканям наиболее распространенных видов пресноводных рыб, обитающих в водоемах, расположенных на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Проанализировано накопление  $^{137}\text{Cs}$  рыбами разного вида и характера питания. Показано распределение данного радионуклида по органам и тканям рыб, обитающих на территории радиоактивного загрязнения.

**Ключевые слова:** ихтиофауна, активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , распределение в организме, органы и ткани.

Data on maintenance and distribution  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  on bodies and tissues of the most widespread species of the freshwater fishes living in the reservoirs located in territories with a high level of a radiocontamination are provided. The accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by fish of different types and feeding patterns was analyzed. The distribution of this radionuclide in the organs and tissues of fish living in the territory of radioactive contamination is shown.

**Keywords:** a fish fauna, activity  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ , distribution in an organism, bodies and tissues.

**Введение.** В результате техногенной катастрофы, произошедшей на Чернобыльской АЭС, значительному загрязнению искусственными, биологически значимыми радионуклидами были подвергнуты многие внутренние водоемы Беларуси, Украины и России [1].

Большинство радиоактивных осадков выпало на территории водосбора реки Припять, которая составляет важный компонент системы Днепра и днепровских водохранилищ, одной из наиболее крупных систем поверхностных вод в Европе. На территории водосбора Припяти сформировалась обширная зона радиоактивного загрязнения, что привело к поступлению радионуклидов во многие рыбохозяйственные водоемы [2].

Радионуклиды вовлекаются в биогеохимические циклы и, мигрируя по пищевой сети, накапливаются верхними трофическими уровнями, которые в большинстве пресноводных экосистем занимают рыбы – один из объектов питания человека. Это может являться дополнительным источником поступления радионуклидов в организм человека и приводить к увеличению дозовых нагрузок на население, проживающее на радиоактивно загрязненной территории.

В настоящее время в естественных водоемах Беларуси достоверно установлено обитание 65 видов рыбообразных, из которых 3 вида миног и 62 вида рыб. Аборигенная фауна представлена 47 видами, из которых 24 вида являются широко распространенными [3], [4].

**Материал и методика исследований.** В период 2016–2017 гг. проведены работы по изучению накопления радионуклидов пресноводной ихтиофауной, обитающей в различных типах водоемов, расположенных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Изучали следующие водоемы: реку Припять и реку Несвич, озера Гнездное (замкнутый водоем), Вьюры (замкнутый водоем), Семеница (полупроточный водоем) и канал вблизи бывшего населенного пункта (б.н.п.) Оревичи. Водные объекты, на которых проводились исследования, характеризуются различным гидрологическим режимом. В качестве орудий лова были использованы сети трехстенные «Нептун» длина 30 м, высота 1,8 м, размер ячеи 30 мм (2 шт.), 40 мм (2 шт.), 50 мм (2 шт.), 65 мм (2 шт.), 70 мм (2 шт.).

При проведении лова рыб одновременно устанавливалось от 2 до 8 сетей с разным размером ячеи. На реке Припять отлов рыб проводился на пяти станциях, расположенных на реке – две станции в районе города Наровля и по одной в районе населенного пункта Конотоп,

б.н.п. Хвощевка и б.н.п. Белая Сорока. На реке Несвич был обловлен участок длиной 0,5 км вблизи б.н.п. Михалевка, озера Семеница, Гнездное и Вьюры облавливались по всему периметру, в местах, где была возможна установка сетей. На канале был обловлен участок длиной 0,5 км вблизи б.н.п. Оревичи [5].

Определение видов и анализ биологических показателей рыб производился общепринятыми в ихтиологических исследованиях методами [6]–[8].

Для спектрометрического анализа отбирались биологические образцы (мышцы, кости, печень, гонады (мужские семенные железы – молоки, и женские – икра). Определение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе проводили гамма-спектрометрическим методом.

Для определения плотности загрязнения территории водосбора водных объектов проводился отбор смешанных образцов почвы стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см. Донные отложения отбирались на расстоянии 50–100 см от уреза воды на глубине 30–50 см с помощью стандартного пробоотборника.

Отобранные пробы почвы сушились в лабораторных условиях при температуре 20–25 °С. По окончании пробоподготовки образцы помещались в измерительные сосуды для последующего определения радионуклидов.

Радиоспектрометрический анализ рыб был проведен в лаборатории спектрометрии и радиохимии Полесского государственного радиационно-экологического заповедника с использованием гамма-бета спектрометра МКС–АТ1315 и гамма-спектрометра «Canberra». Удельная активность радионуклидов в рыбах приводится в беккерелях на килограмм (Бк/кг) сырой массы. Относительная погрешность измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в образцах не превышала 30 %. Статистическая и графическая обработка результатов измерений проводилась с использованием пакета прикладных программ Excel.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Основными факторами, определяющими количественное содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах, являются: уровень и состав радионуклидного загрязнения водных объектов и их водосборных территорий, гидрологический и гидрохимический режимы водоемов, а также физиологические особенности накопления радионуклидов в органах и тканях [9].

Существует зависимость между удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в рыбах и загрязнением данными радионуклидами прилегающих территорий. Чем выше загрязнение местности, на которой расположен водоем, тем выше уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  у всех компонентов водоема, в том числе и у рыб.

За период проведения работ получены результаты удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в организме 12 видов рыб (возрастом от 2 до 10 лет), относящихся к различным экологическим группам. Всего исследовано 727 особей рыб. Общее количество исследованных ихтиологических проб составило свыше 2000. Среди хищных рыб (облигатных и факультативных ихтиофагов) были проанализированы щука обыкновенная (*Esox lucius* L.), жерех (*Aspius aspius* L.), судак обыкновенный (*Stizostedion lucioperca* L.), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.) и чехонь (*Pelecus cultratus* L.).

Среди «мирных» видов рыб исследовали представителей следующих групп: зоопланктонофаги – синец (*Abramis ballerus* L.); бентофаги – карась серебряный (*Carassius auratus gibelio* Bloch), густера обыкновенная (*Blicca bjoerkna* L.), линь (*Tinca tinca* L.), плотва (*Rutilus rutilus* L.), язь (*Leuciscus idus* L.) и лещ (*Abramis brama* L.). Классификация рыб по преимущественному типу питания приведена согласно [8].

Плотность загрязнения территории водосбора исследуемых водных объектов представлена в таблице 1. Наибольшей плотностью загрязнения радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  прилегающей территории характеризовались река Несвич и бывший мелиоративный канал, где средняя плотность радиоактивного загрязнения почвы составляла  $12771,1 \pm 2554,2$  кБк/м<sup>2</sup> и  $1427,7 \pm 285,5$  кБк/м<sup>2</sup> соответственно. Наименьшие плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  территории водосбора среди исследуемых водных объектов отмечены на реке Припять за исключением участка, расположенного в районе б.н.п. Белая Сорока находящемся на наименьшем удалении от источника выброса, и озере Гнездном –  $271,1$ – $298,0$  кБк/м<sup>2</sup>.

Среди компонентов озерных экосистем основное количество радионуклидов депонировано в донных отложениях:  $^{90}\text{Sr}$  – 89–95 %,  $^{137}\text{Cs}$ –99 % от общего количества в экосистеме. Повышенная миграционная активность  $^{90}\text{Sr}$  определяет более высокое его содержание в водной компоненте 4–10 % по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$  0,5–0,6 % [10].

Таблица 1 – Средняя плотность радиоактивного загрязнения почвы территории водосбора

Водоем	Плотность радиоактивного загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Река Припять (в районе города Наровля)	298,0 ± 60,2	43,8 ± 12,5
Река Припять (в районе населенного пункта (Конотоп))	354,4 ± 71,0	19,6 ± 7,9
Река Припять (в районе б.н.п. Белая Сорока)	1129,9 ± 221,7	80,6 ± 21,3
Река Несвич (в районе б.н.п. Михалевка)	12771,1 ± 2554,2	768,7 ± 167,1
Озеро Семеница	999,2 ± 184,2	68,8 ± 18,7
Озеро Гнездное	271,1 ± 54,2	44,4 ± 12,6
Мелиоративный канал вблизи б.н.п. Оревичи	1427,7 ± 285,5	131,9 ± 30,9

В таблице 2 представлены данные по содержанию радионуклидов в донных отложениях исследуемых водоемов. Наибольшие уровни плотности загрязнения донных отложений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  зарегистрированы на участке мелиоративной сети вблизи б.н.п. Оревичи 390,0 ± 78,0 кБк/м<sup>2</sup> и 48,8 ± 14,4 кБк/м<sup>2</sup> соответственно. Также высокими показателями радионуклидного загрязнения характеризовался исследуемый участок реки Несвич вблизи б.н.п. Михалевка (311,0 ± 62,0 кБк/м<sup>2</sup> по  $^{137}\text{Cs}$  и 26,1 ± 7,7 кБк/м<sup>2</sup> по  $^{90}\text{Sr}$ ).

Таблица 2 – Плотность радиоактивного загрязнения донных отложений прибрежной полосы водоемов, кБк/кг

Наименование водоема	Плотность радиоактивного загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Река Припять (в районе города Наровля)	30,5 ± 6,3	— *
Река Припять (в районе населенного пункта Конотоп)	48,6 ± 9,9	— *
Река Припять (в районе б.н.п. Белая Сорока)	43,5 ± 8,9	— *
Река Несвич (в районе б.н.п. Михалевка)	311,0 ± 62,0	26,1 ± 7,7
Озеро Семеница	33,6 ± 6,9	— *
Озеро Гнездное	74,5 ± 14,9	— *
Мелиоративный канал вблизи б.н.п. Оревичи	390,0 ± 78,0	48,8 ± 14,4

\* – полученные результаты измерений ниже минимальной детектируемой активности.

Следует отметить, что плотность радиоактивного загрязнения донных отложений исследуемых водоемов ниже, чем почв на территории водосборов.

На исследуемом участке Припяти в районе б.н.п. Белая Сорока плотность загрязнения донных отложений  $^{137}\text{Cs}$  практически не отличается от двух других исследованных участков реки, несмотря на высокие уровни загрязнения прилегающих территорий, это связано с гидрологическим режимом водного объекта.

Уровни удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  у рыб во многом определяются проточностью водоема. Наибольшие уровни накопления  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах отмечаются в непроточных и слабопроточных водоемах, расположенных на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани рыб различных водоемов может существенно различаться (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани рыб, выловленных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, Бк/кг

Вид	Водоем				
	Река Припять	Озеро Семеница	Озеро Гнездное	Озеро Вьюры	Участок мелиоративной сети
Карась сер.	–	–	–	–	$\frac{2438}{829-5750}$ (n = 98)

Окончание таблицы 3

Линь	$\frac{53}{32-101}$ (n = 5)	$\frac{24}{16-32}$ (n = 3)	$\frac{79}{61-103}$ (n = 6)	–	–	–	–
Густера	$\frac{32}{13-131}$ (n = 37)	$\frac{74}{7-217}$ (n = 34)	–	–	–	–	–
Жерех	$\frac{194}{29-384}$ (n = 6)	–	$\frac{135}{89-228}$ (n = 5)	–	–	–	–
Лещ	$\frac{38}{18-86}$ (n = 20)	$\frac{30}{11-48}$ (n = 53)	–	–	$\frac{71}{34-108}$ (n = 6)	–	–
Чехонь	–	$\frac{159}{60-266}$ (n = 4)	–	–	–	–	–
Язь	$\frac{40}{36-44}$ (n = 3)	–	–	–	–	–	–
Окунь	$\frac{163}{42-582}$ (n = 36)	$\frac{123}{32-217}$ (n = 20)	$\frac{406}{284-560}$ (n = 13)	$\frac{326}{97-510}$ (n = 12)	–	–	–
Судак	$\frac{92}{26-197}$ (n = 4)	$\frac{122}{61-205}$ (n = 5)	–	–	–	–	–
Плотва	$\frac{134}{14-1199}$ (n = 47)	$\frac{84}{15-767}$ (n = 50)	$\frac{151}{67-298}$ (n = 11)	–	–	–	–
Синец	$\frac{73 \pm 29}{21-192}$ (n = 65)	$\frac{46}{15-173}$ (n = 17)	$\frac{90}{15-173}$ (n = 14)	$\frac{83}{42-256}$ (n = 109)	–	–	–
Щука	$\frac{139}{73-213}$ (n = 8)	$\frac{130}{69-397}$ (n = 13)	$\frac{216}{137-281}$ (n = 5)	–	–	$\frac{2177}{1745-2758}$ (n = 18)	–

*Примечание:* в числителе – среднее значение; в знаменателе – минимальное, максимальное значение; в скобках – объем выборки.

Как видно из данных, представленных в таблице 3, наибольшая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  отмечалась в организме хищных рыб. Такие виды (судак щука, окунь, жерех) накапливали данный радионуклид в пределах 92–194 Бк/кг, в то время как «мирные» виды рыб – 32–53 Бк/кг.

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани карася, выловленного в реке Несвич вблизи б.н.п. Михалевка, регистрировалась в пределах 1325–7438 Бк/кг при средней удельной активности  $2573 \pm 366$  Бк/кг.

Наибольшими величинами удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе характеризуется система мелиоративной сети и замкнутые водоемы, расположенные в пойме реки Припять, несколько меньшие значения отмечены для водоемов с более высоким уровнем проточности – озеро Семеница, и минимальные – для реки Припять. Высокие значения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в организме рыб, обитающих на исследованном участке реки Несвич, в первую очередь связаны с высокими уровнями радиоактивного загрязнения прилегающих территорий и гидрологическим режимом водного объекта.

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в костной ткани рыб, выловленных на территории заповедника, представлена в таблице 4.

Как видно из данных, приведенных в таблице 4, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в костной ткани рыб, выловленных в реке Принять, характеризуется более низкими значениями (42–186 Бк/кг), чем у рыб замкнутых водоемов – 63–365 Бк/кг. Наибольшая активность в костной ткани данного радионуклида отмечена нами у рыб, обитающих в водоемах бывшей мелиоративной сети. Так активность  $^{137}\text{Cs}$  в костной ткани карася серебряного составляла  $1877 \pm 464$  Бк/кг, а у щуки –  $2333 \pm 528$  Бк/кг.

Таблица 4 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в костной ткани рыб, выловленных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, Бк/кг

Вид	Водоем				Участок мелиоративной сети
	Река Припять	Озеро Семеница	Озеро Гнездное	Озеро Вьюры	
Карась сер.	–	–	–	–	$\frac{1877 \pm 464}{237-4380}$ (n = 98)
Линь	$\frac{42}{28-101}$ (n = 5)	$\frac{23}{16-24}$ (n = 3)	$\frac{63}{34-91}$ (n = 6)	–	–

Окончание таблицы 4

Густера	$\frac{45}{30-106}$ (n = 37)	$\frac{110}{17-372}$ (n = 9)	–	–	–	–
Жерех	$\frac{176}{93-276}$ (n = 6)	–	–	$\frac{185}{148-264}$ (n = 5)	–	–
Лещ	$\frac{41}{15-76}$ (n = 20)	$\frac{33}{1-132}$ (n = 53)	–	–	$\frac{95 \pm 38}{65-109}$ (n = 5)	–
Чехонь	–	–	$\frac{187}{60-266}$ (n = 4)	–	–	–
Окунь	$\frac{186}{54-545}$ (n = 36)	$\frac{105}{62-125}$ (n = 20)	$\frac{365 \pm 103}{221-481}$ (n = 13)	$\frac{318 \pm 88}{137-583}$ (n = 11)	–	–
Судак	$\frac{98}{64-110}$ (n = 4)	$\frac{106}{97-109}$ (n = 5)	–	–	–	–
Плотва	$\frac{184}{15-1040}$ (n = 45)	$\frac{134}{33-101}$ (n = 16)	–	–	–	–
Синец	$\frac{90}{21-201}$ (n = 42)	$\frac{42}{17-155}$ (n = 17)	$\frac{93}{15-170}$ (n = 14)	$\frac{98 \pm 57}{42-222}$ (n = 70)	–	–
Щука	$\frac{110}{58-167}$ (n = 8)	$\frac{117}{41-317}$ (n = 13)	$\frac{176}{130-181}$ (n = 4)	–	–	$\frac{2333 \pm 528}{1308-3449}$ (n = 18)

Примечание: в числителе – среднее значение; в знаменателе – минимальное, максимальное значение; в скобках – объем выборки.

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в костной ткани исследованных 13 особей карася, изъятых на участке реки Несвич в районе б.н.п. Михалевка, находилась в пределах 550–4436 Бк/кг при средней удельной активности  $1771 \pm 408$  Бк/кг.

Наименьшая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  зарегистрирована в рыбах низких трофических уровней, так называемых мирных видах, обитающих в крупных водоемах: лещ, густера, плотва, карась, линь, синец. Наибольшая удельная активность у рыб высоких трофических уровней, хищников: щуки, окуня и судака. На исследуемом участке мелиоративной сети эта закономерность не проявляется, наблюдается незначительное превышение содержания радионуклида у карася, занимающего более низкий трофический уровень в отношении щуки.

$^{90}\text{Sr}$ , являясь остеотропным радионуклидом [11], накапливался в основном в костной ткани исследуемых видов рыб (таблица 5).

Таблица 5 – Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани рыб, выловленных в канале вблизи б.н.п. Оревичи на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, Бк/кг

Радионуклид	Объем выборки n	Среднее значение	Минимальное, максимальное значение
Карась серебряный	40	$663 \pm 172$	281–1131
Щука	18	$416 \pm 116$	287–718

Так активность  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани рыб, выловленных в канале вблизи б.н.п. Оревичи, колебалась в пределах от  $416 \pm 116$  Бк/кг у щуки до  $663 \pm 172$  Бк/кг у карася серебряного. В остальных исследуемых рыбах содержание  $^{90}\text{Sr}$  в мышечной и костной ткани находилась ниже минимальной детектируемой активности –  $< 100$  Бк/кг.

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в органах и тканях рыб, выловленных на территории заповедника на участке мелиоративной сети (щука, карась) и озерах Гнездом (окунь, синец, линь) и Семеница (густера), представлены на рисунке 1.

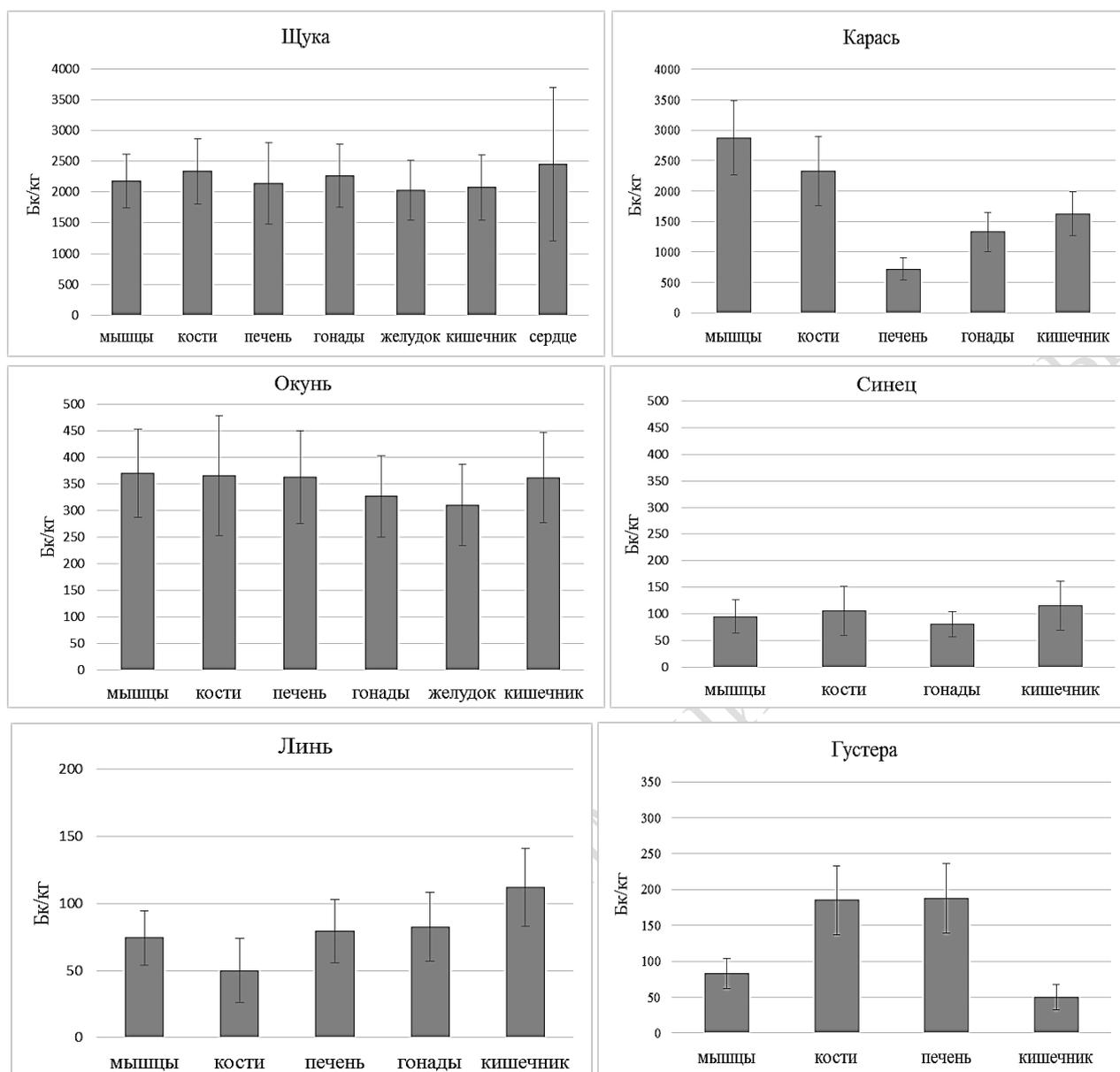


Рисунок 1 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в органах и тканях рыб, выловленных на территории ПГРЗ: щука, карась, окунь, синец, линь, густера

В организме исследуемых особей окуня и щуки  $^{137}\text{Cs}$  аккумулировался относительно равномерно, это же можно сказать и в отношении исследуемых особей синца, выловленных в озере Гнездном.

У карася наиболее высокие уровни средней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемых органах и тканях отмечены в мышцах, наименьшие – в печени. Так удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани карася была примерно в 4 раза выше, чем в печени, в 2 раза выше, чем в икре и в 1,5 раза выше, чем в костной ткани.

Высокие значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  отмечены в организме густеры, выловленной в озере Семеница. У данного вида рыб определены более высокие уровни содержания радиоактивного цезия в печени и костной ткани по отношению к мышечной ткани. У линя в большей степени радиоактивный цезий накапливал кишечник в сравнении с другими органами.

Исследования, проведенные в водоемах, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС, обнаружили, что у рыб одного вида в более крупных особях удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  больше, чем в экземплярах меньших размеров. Этому явлению было дано наименование «размерный эффект» [9]. Обычно положительный размерный эффект регистрировался в рыбах высших трофических уровней – ихтиофагах и рыбах смешанного типа питания, с увеличением возраста переходящих на облигатное хищничество.

**Заключение.** Таким образом, за время проведения исследований нами были исследованы рыбы, относящиеся к восьми видам различных экологических групп. Наибольшие уровни плотности загрязнения донных отложений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  зарегистрированы на участке мелиоративной сети вблизи б.н.п. Оревичи  $390,0 \pm 78,0$  кБк/м<sup>2</sup> и  $48,8 \pm 14,4$  кБк/м<sup>2</sup> соответственно.

Наибольшими величинами удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе характеризуется система мелиоративной сети и замкнутые водоемы, расположенные в пойме реки Припять, несколько меньшие значения отмечены для водоемов с более высоким уровнем проточности – озеро Семеница, и минимальные – для реки Припять.

### Литература

1. Кузьменко, М.І. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М.І. Кузьменко, Д.І. Гудков, С.І. Кіреєв. – К. : Наукова думка, 2010. – 263 с.
2. Собо́тович, Э.В. Естественная защищенность природных вод от загрязнения техногенными радионуклидами Чернобыльского выброса / Э.В. Собо́тович // I Международная рабочая группа по тяжелым авариям и их последствиям, 30 октября–3 ноября 1989 г., Дагомыс, Сочи. – М. : Наука, 1990. – С. 144–152.
3. Куницкий, Д.Ф. Современный состав ихтиофауны водоемов бассейна р. Припять / Д.Ф. Куницкий, В.К. Ризевский // Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены : матэрыялы Міжнар. навук. канф., 17–21 чэрвеня 2002 г. : в 2-х ч. – Брест, 2002. – Ч. 2. – С. 380–385.
4. Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / редкол. : Г.П. Пашков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БелЭн, 2004. – 320 с.
5. Гашев, С.Н. Методика комплексной оценки состояния сообществ и популяций доминирующих млекопитающих, амфибий и рыб / С.Н. Гашев, Н.А. Сазонова, А.Г. Селюков, О.А. Хританько, С.И. Шаповалов. – Тюмень : ТюмГУ, 2005. – 94 с.
6. Жуков, П.И. Справочник по экологии пресноводных рыб / П.И. Жуков – Мн. : Наука и техника, 1988. – 310 с.
7. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин – Москва : Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
8. Брюзгин, В.Л. Методы изучения рыб по чешуе, костям и отолитам / В.Л. Брюзгин – Киев : Наук. думка, 1969. – 187 с.
9. Рябов, И.Н. Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС / И.Н. Рябов. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 215 с.
10. Гудков Д.И. Радионуклиды в озерных экосистемах Красненской поймы р. Припять: содержание и распределение в биотических и абиотических компонентах / Д.И. Гудков, В.В. Деревец, Л.Н. Зуб, А.Е. Каглян, С.И. Киреев [и др.] // Доп. Нац. АН України. – 2005. – № 5. – С. 187–193.
11. Каглян, А.Е. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения / А.Е. Каглян, Д.И. Гудков, В.Г. Кленус, З.О. Широкая [и др.]// Ядерна фізика та енергетика. – 2012. – Т. 13, № 3. – С. 306–315.

<sup>1</sup>Полесский государственный  
радиоэкологический заповедник

<sup>2</sup>Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 14.05.2018