

Биология

57.04:535.231.16:597.551.2:556.555(476.2)

Формирование поглощенной дозы облучения у аборигенной ихтиофауны непроточных водоемов Полесского радиационно-экологического заповедника

А.В. Гулаков¹, Д.Н. Дроздов¹, Д.Н. Иванцов²

В статье приводятся результаты анализа радиоэкологического состояния аборигенной ихтиофауны закрытого водного объекта, расположенного на территории Полесского радиационно-экологического заповедника. В ходе исследований установлено, что средний уровень мощности поглощенной дозы облучения у ихтиофауны видов озера Семеница была 0,108 мГр/сут. Средняя мощность дозы придонных бентофагов составила $0,082 \pm 0,019$ мГр/сут, пелагических хищников $0,134 \pm 0,012$ мГр/сут. Внешнее облучение вносит 20 %, а внутреннее 80 % в суммарную дозу облучения. Радионуклиды ^{137}Cs обуславливают формирование дозы внешнего и внутреннего облучения на 37,7 %, радионуклиды ^{90}Sr на 62,3 %. Формирование дозы внешнего облучения обуславливают радионуклиды ^{137}Cs донных отложений, вклад которых в суммарную дозу облучения составляет более 95 %, в организме радионуклиды ^{90}Sr обуславливают до 60 % дозы внутреннего облучения. Уровень суммарной мощности поглощенной дозы облучения от ^{137}Cs и ^{90}Sr для исследованного водного объекта не выходит за нижний предел скрининговой величины, и не влияет на увеличение частоты дозовых эффектов в популяциях исследованных видов.

Ключевые слова: поглощенная доза, ихтиофауна, водный объект, удельная активность.

The article presents the results of the analysis of the radioecological state of the native ichthyofauna of a closed water body located on the territory of the Polessky radiation-ecological reserve. In the course of the research, it was found that the average level of the absorbed dose rate in the ichthyofauna of the species of Lake Semenița was 0,108 mGy/day. The average dose rate for benthic benthivorous predators was $0,082 \pm 0,019$ mGy/day, for pelagic predators it was $0,134 \pm 0,012$ mGy/day. External irradiation contributes 20 %, and internal 80% to the total radiation dose. ^{137}Cs radionuclides determine the formation of external and internal exposure dose by 37,7 %, ^{90}Sr radionuclides by 62,3 %. The formation of the external exposure dose is caused by ^{137}Cs radionuclides of bottom sediments, whose contribution to the total exposure dose is more than 95 %; in the body, ^{90}Sr radionuclides determine up to 60 % of the internal exposure dose. The level of the total absorbed dose rate from ^{137}Cs and ^{90}Sr for the studied water body does not go beyond the lower limit of the screening value, and does not affect the increase in the frequency of dose effects in the populations of the studied species.

Keywords: absorbed dose, ichthyofauna, water body, specific activity.

Введение. Радиоактивное загрязнение территории Юго-Восточного Белорусского Полесья привело к экологической трансформации компонентов биогеоценозов региона. На водосборных территориях Днестра и Припяти вследствие Чернобыльской катастрофы сформировалась обширная зона загрязнения, что привело к поступлению радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr во многие водоемы, находящиеся на пострадавших территориях. В настоящее время радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr регистрируются во всех компонентах экосистем, они вовлечены в геохимические и трофические циклы. Радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr являются постоянными участниками биогеохимических процессов, включены в трофические цепи питания, обладают способностью к аккумуляции в разных трофических звеньях, поэтому могут являться дополнительным источником опасности для населения пострадавших территорий [1], [2].

Важное значение для процессов аккумуляции и миграции радионуклидов имеют водные объекты с низким темпом очищения – это непроточные озера, малопроточные старичные водоемы и каналы мелиоративной сети. Наблюдения за водными объектами закрытого типа показывают, что динамика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr водными растениями и ихтиофауной определяется совокупностью гидрохимических особенностей экосистемы и морфофизиологией макрофитов и ихтиофауны. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr высшими водными растениями и

ихтиофауной обуславливают характер формирования грунтов, форму нахождения радионуклида в донных отложениях, особенности ландшафта водосборных территорий пресноводных гидробиоценозов, минерализацию водоема, концентрацию калия и кальция в воде [3].

В процессе миграции источников радиоактивного излучения по трофической цепи происходит аккумуляция радионуклидов в направлении от бентофагов к хищникам. В результате хищные виды рыб, рыбы со смешанным типом питания и придонные бентофаги непроточных и малопроточных водных объектов могут иметь различия в формировании поглощенной дозы внутреннего облучения. В этой связи научный и практический интерес представляет исследование динамики формирования поглощенной дозы внутреннего облучения у разных видов ихтиофауны непроточных водоемов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения юго-восточных районов Белорусского Полесья.

Целью работы являлось исследование закономерностей формирования поглощенной дозы облучения у аборигенной ихтиофауны непроточных водоемов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения.

Материалы и методы исследования. Для достижения цели исследования использовались данные удельной активности, полученные в ходе мониторинга водных биогидроценозов, расположенных на территории Полесского радиационно-экологического заповедника. Сбор данных удельной активности аборигенных видов ихтиофауны производился в 2018–2021 гг. в летне-осенний период. В качестве стационарных участков для изъятия и последующего спектрометрического анализа образцов выбраны непроточные водные объекты оз. Семеница. Озеро старичного типа находится на юго-запад от города Хойники вблизи нежилого населенного пункта Хвощевка; относится к бассейну реки Припять. Площадь зеркала около 0,21 км², длина 2,3 км, ширина 0,17 км, длина береговой линии 7,8 км. На рисунке 1 обозначено местоположение и географические координаты участка изъятия рыб и отбора проб воды и донных отложений. Для изъятия использовали трехстенные сети «Нептун», длиной 30 м, высотой 1,8 м, размер ячеек 30–70 мм; в момент лова устанавливали 2–8 сетей с разным размером ячеек. Определяли вид, пол, возраст рыб и видовой состав согласно методике [4]–[6].

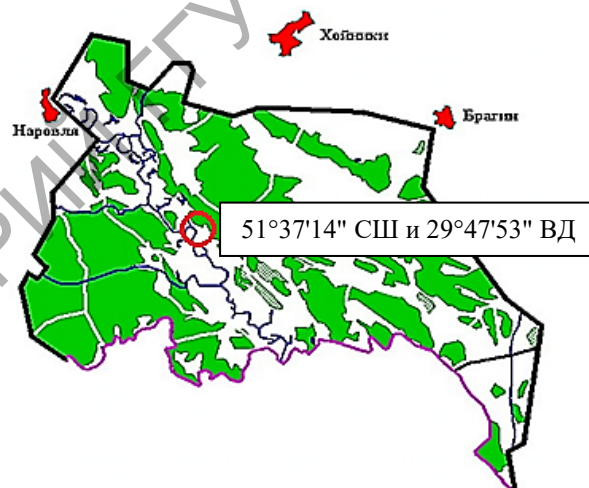


Рисунок 1 – Карта-схема места отбора проб

Для определения плотности радиоактивного загрязнения территории водного объекта проводили отбор образцов воды и донных отложений на расстоянии 50–100 см от уреза воды на глубине 30–50 см с помощью стандартного пробоотборника. Согласно [7] основное количество радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr депонируется в донных отложениях, повышенная миграция ⁹⁰Sr – 4–10 % обусловлена более высоким содержанием его в воде в сравнении с ¹³⁷Cs, 0,5–0,6 %.

Удельную активность изъятых образцов определяли методом спектрометрического анализа в лаборатории спектрометрии и радиохимии Полесского государственного радиационно-экологического заповедника; для определения активности использовали гамма-бета спектрометр МКС-АТ1315 и гамма-спектрометр «Canberra Industris Inc». Определение

удельной активности радионуклидов производилось на килограмм сырой массы образца; относительная активность измерения в образцах не превышала 30 %. На основании значений удельной активности производился расчет поглощенной дозы внутреннего облучения на организм рыб. В ходе расчета поглощенной дозы исходили из того, что радионуклиды ^{137}Cs находились в равновесии, концентрация радионуклида в течение года не изменялась; ^{90}Sr накапливается преимущественно в костной ткани [8].

Оценку поглощенной дозы внутреннего облучения от инкорпорированных ^{137}Cs и ^{90}Sr проводили в соответствии с Рекомендациями P52.18.820-2015 «Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки» [9]. Полный вклад в мощность дозы облучения пресноводного объекта водной биоты определяли путем сложения дозы внутреннего облучения (D_{int}) инкорпорированных радионуклидов и суммы доз внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде (D_{ext_1}) и донных отложениях (D_{ext_2}):

$$D = D_{\text{int}} + D_{\text{ext}_1} + D_{\text{ext}_2}$$

Для расчетов использовали табличные значения факторов дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения пресноводных рыб [7]. Для оценки мощности дозы внутреннего облучения от радионуклидов ^{137}Cs использовали фактор дозовой конверсии $1,9 \cdot 10^{-4}$ (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса), ^{90}Sr $6,3 \cdot 10^{-4}$ (мкГр/ч)/(Бк/кг). Для оценки мощности дозы внешнего облучения в воде и донных отложениях использовали фактор дозовой конверсии $2,9 \cdot 10^{-4}$ (мкГр/ч)/(Бк/кг). Исследование включало оценку достоверности различий средних доз облучения рыб разных видов и трофических групп. Для оценки достоверности использовали методы параметрической статистики для статистической значимости $p \leq 0,05$. Обработка данных проводилась с помощью пакета прикладных программ *Statistica 10.0*.

Результаты исследований и их обсуждение. Ихтиофауна озера Семеница по происхождению связана с бассейном р. Припять. Анализ результатов исследования [9] показал, что в ее водотоках зарегистрировано 14 видов рыб, относящихся к 4 отрядам: карпообразные (Cypriniformes), окунеобразные (Perciformes), шукообразные (Esociformes), сомообразные (Siluriformes). За период проведения работ получены результаты удельной активности мышечной ткани и кости для 13 видов рыб (возраст 2 – 10 лет), относящихся к разным экологическим группам.

Проведен анализ данных облигатных и факультативных хищников: щука обыкновенная (*Esox lucius* L.), жерех (*Aspius aspius* L.), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.). Среди «мирных» видов исследовались бентофаги карась серебряный (*Carassius auratus gibelio* B.), густера обыкновенная (*Blicca bjoerkna* L.), лещ (*Abramis brama* L.).

Среднее содержание радионуклидов в организме рыб разных трофических групп приведено в таблице 1.

Из данных, приведенных в таблице 1 видно, что между придонными бентофагами и пелагическими хищными рыбами имеются различия содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Средняя удельная активность радионуклидов ^{137}Cs в организме придонных бентофагов составляет $59,0 \pm 20,9$ Бк/кг, в организме пелагических хищников $167,3 \pm 38,6$ Бк/кг. Распределение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме придонных бентофагов и пелагических хищников подчиняется нормальному закону. Между удельной активностью радионуклидов ^{137}Cs в организме придонных бентофагов и пелагических хищников установлено достоверное различие ($p = 0,0071$).

Таблица 1 – Содержание радиоизотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме рыб

Вид	Тип питания	Удельная активность, Бк/кг	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Густера	Бентофаг	46	111
Карась серебряный	Бентофаг	52	133
Лещ	Бентофаг	79	72
Жерех	Пери/зоофаг	183	118
Щука	Зоофаг	130	106
Окунь	Зоофаг	189	88

Средняя удельная активность радионуклидов ^{90}Sr в организме придонных бентофагов составляет $105,3 \pm 36,7$ Бк/кг, в организме пелагических хищников $104,0 \pm 18,0$ Бк/кг. Между средней удельной активностью радионуклидов ^{90}Sr в организме придонных бентофагов и пелагических хищников не установлено достоверное различие ($p = 0,9497$).

В таблице 2 представлены данные мощности поглощенной дозы придонных бентофагов и пелагических хищников озера Семеница.

Таблица 2 – Поглощенная доза облучения некоторых видов рыб озера Семеница

Вид	Тип питания	Доза облучения, мГр/сут				Суммарная доза облучения, мГр/сут
		внешняя		внутренняя		
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	
Густера	Бентофаг	3,39E-03	1,15E-03	0,009	0,070	0,083
Карась сер.	Бентофаг	3,39E-03	1,15E-03	0,010	0,084	0,098
Лещ	Бентофаг	3,39E-03	1,15E-03	0,015	0,045	0,065
Жерех	Пери/зоофаг	3,51E-02	1,31E-03	0,035	0,074	0,145
Щука	Зоофаг	3,51E-02	1,31E-03	0,025	0,067	0,128
Окунь	Зоофаг	3,51E-02	1,31E-03	0,036	0,055	0,128

Из данных, приведенных в таблице 2 видно, что средний уровень мощности поглощенной дозы облучения у ихтиофауны видов озера Семеница составляет 0,108 мГр/сут. Средняя мощность дозы придонных бентофагов составила $0,082 \pm 0,019$ мГр/сут, пелагических хищников $0,134 \pm 0,012$ мГр/сут. Внешнее облучение вносит 20 %, а внутреннее 80 % в суммарную дозу облучения. Радионуклиды ^{137}Cs обуславливают формирование дозы внешнего и внутреннего облучения на 37,7 %, радионуклиды ^{90}Sr на 62,3 %. Формирование дозы внешнего облучения обуславливают радионуклиды ^{137}Cs донных отложений, вклад которых в суммарную дозу облучения более 95 %, в организме радионуклиды ^{90}Sr обуславливают до 60 % дозы внутреннего облучения.

Сравнительный анализ мощности поглощенной дозы придонных бентофагов и пелагических хищников показал достоверное различие величины дозы ($p < 0,05$). Для пелагических хищников долевым вкладом от ^{90}Sr составил 57 %, для придонных видов 43 %. Дисперсионный анализ показал, что фактор пищевого поведения рыб в замкнутом водоеме обуславливает до 60 % формирования дозы внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr ($p < 0,05$) и до 40 % от содержания этих радионуклидов в воде и донных отложениях ($p < 0,05$).

Заключение. Анализ данных исследования радиозэкологического состояния аборигенной ихтиофауны придонных и пелагических видов рыб закрытого водного объекта озера Семеница показал достоверные различия средних значений поглощенных доз облучения ($p < 0,05$). Средняя мощность поглощенной дозы придонных бентофагов составила $0,082 \pm 0,019$ мГр/сут, пелагических хищников $0,134 \pm 0,012$ мГр/сут. Основной вклад в формирование поглощенной дозы внешнего облучения вносят радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr донных отложений (до 95 %). Вклад в суммарную дозу облучения от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr от дозы внутреннего облучения у придонных бентофагов и пелагических хищников различается ($p < 0,05$). У придонных бентофагов поступление в организм ^{137}Cs обуславливает 13,4 % суммарной дозы облучения, у пелагических хищников 23,9 %. Поступление в организм придонных бентофагов ^{90}Sr обуславливает 80,5 %, в организм пелагических хищников 49,3 % суммарной дозы облучения. Вместе с тем проведенная оценка показывает, что уровень суммарной мощности поглощенной дозы облучения от ^{137}Cs и ^{90}Sr для исследованного водного объекта не выходит за нижний предел скрининговой величины и не влияет на увеличение частоты дозовых эффектов в популяциях исследованных видов.

Литература

1. Радиозэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС : биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр РАН Н. И. Санжаровой и проф. С. В. Фесенко. – М. : РАН, 2018. – 278 с.

2. Кузьменко, М. І. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М. І. Кузьменко, Д. І. Гудков, С. І. Кіреєв – К. : Наукова думка, 2010. – 263 с.
3. Жуков, П. И. Справочник по экологии пресноводных рыб / П. И. Жуков – Мн. : Наука и техника, 1988. – 310 с.
4. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 374 с.
5. Брюзгин, В. Л. Методы изучения рыб по чешуе, костям и отолитам / В. Л. Брюзгин – Киев : Наукова думка, 1969. – 187 с.
6. Гудков, Д. И. Радионуклиды в озерных экосистемах Красненской поймы р. Припять : содержание и распространение в биотических и абиотических компонентах / Д. И. Гудков [и др.] // Доп. АН України. – 2005. – № 5 – С. 187–193.
7. Иванцов, Д. Н. Зависимость накопления ^{137}Cs от промысловой длины хищных видов рыб / Д. Н. Иванцов, А. В. Гулаков, Д. Н. Дроздов // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : VI Международная научно-практическая конференция, Гомель, 2–3 июня 2022 г. : сборник материалов / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: А. П. Гусев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – С. 38–42.
8. Рекомендации P52.18.820-2015 Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. – Обнинск, 2015 – 65 с.
9. Иванцов, Д. Н. База данных радиологических исследований животных / Д. Н. Иванцов // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : VI Международная научно-практическая конференция, Гомель, 2–3 июня 2022 г. : сборник материалов / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: А. П. Гусев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – С. 42–47.

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

²Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

Поступила в редакцию 03.03.2023