

Обращают на себя внимание более высокие коэффициенты накопления ^{137}Cs надземными органами пшеницы в контрольных вариантах эксперимента с переувлажнением почвы по сравнению с контрольными вариантами эксперимента с почвенной засухой, имеющих одинаковую влажность почвы – 70% от полной влагоемкости. Объяснение данного различия вызывает затруднение, поскольку оба эксперимента проводились с использованием тщательно перемешанной почвы, отобранной в одном и том же месте, а растения выращивались в фитокомнате с идентичными контролируемыми условиями. Разница состояла лишь во времени проведения эксперимента.

Проведенный в условиях строго контролируемых условий роста растений эксперимент показал, что кратковременная (до 20 суток) почвенная засуха и переувлажнение не оказывают влияние на накопление ^{137}Cs надземными частями ювенильных растений яровой пшеницы. Переувлажнение почвы, продолжающееся более трех недель, приводит к более чем двукратному росту накопления ^{137}Cs растениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логинов, В. Ф.* Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 315 с.
2. *Dowdall, M.* Will global warming affect soil-to-plant transfer of radionuclides? / M. Dowdall [и др.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2008. – Vol. 99, № 11. – P. 1736–1745.
3. *Караваева, Е. Н.* Режим почвенного увлажнения и миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове / Е. Н. Караваева, И. В. Молчанова, Н. В. Куликов // *Радиоактивные изотопы в почвенно-растительном покрове*. – Свердловск, 1979. – С. 3–16.
4. *Куликов, Н. В.* Влияние режима почвенного увлажнения на переход стронция-90, цезия-137 и церия-144 из почвы в раствор / Н. В. Куликов, И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева // *Экология*. – 1973. – № 4. – С. 57–62.
5. *Ehlken, S.* Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review / S. Ehlken, G. Kirchner // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2002. – Vol. 58, № 2-3. – P. 97–112.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЦЕЗИЕМ-137 ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ ВИДОВ ИХТИОФАУНЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИПЯТСКИЙ»

CESIUM-137 CONTAMINATION OF REPRESENTATIVE SPECIES OF ICHTHIOFAUNA OF THE NATIONAL PARK «PRIPYATSKY»

М. В. Пашук, Н. В. Гончарова
M. Pashuk, N. Goncharova

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе представлены результаты радиоэкологического мониторинга проводившегося на территории Национального парка «Припятский» в 2013-2018 г.г. Показано накопления ^{137}Cs у разных видов рыб из водоемов национального парка «Припятский», загрязненных радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Обоснована возможность использования рыб разных трофических уровней в качестве индикаторов радиоактивного загрязнения при различной степени загрязненности водоемов. Даны рекомендации по снижению риска поступления ^{137}Cs в организм человека при употреблении рыб из исследованных водоемов в пищу с учетом видовых закономерностей накопления и выведения радионуклида.

The paper presents the results of radioecological monitoring in the territory of the Prip'yatsky National Park for the period of 2013-2018. Accumulation of ^{137}Cs in different fish species from the reservoirs of the Prip'yatsky National Park contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident was shown. The possibility of using fish of different trophic levels as the indicators of radioactive contamination by the various degrees of pollution of water bodies is substantiated. Recommendations have been prepared for the population on how to reduce the risk of ^{137}Cs entering the human body when eating fish from the studied reservoirs, taking into account the specific patterns of accumulation and elimination of the radionuclide.

Ключевые слова: ихтиофауна, окружающая среда, радионуклиды, водные экосистемы, биота.

Key words: ichthyofauna, environment, radionuclides, aquatic ecosystems, biota.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-369-372>

Формирование радиоактивного загрязнения водных объектов после аварии на Чернобыльской АЭС происходило в две стадии: непосредственно в момент выпадений и в результате проявления вторичных эффектов миграции радионуклидов водным путем [1].

В первые дни после аварии произошло относительно непродолжительное повышение концентрации радионуклидов в воде, обусловленное прямым выпадением радиоактивных осадков на водную поверхность рек и водоемов [1,2]. Так, в начальный период после аварии суммарная бета-активность воды в р. Припять достигала $3,7 \times 10^3$ Бк/л и только спустя 2-3 мес. снизилась до 3,7 - 37 Бк/л; содержание ^{137}Cs составляло 18,1, ^{134}Cs - 8,5 Бк/л [3]. Динамика уровней загрязнения в этот период определялась плотностью выпадений, их физико-химическими свойствами и гидрологией. Состав выброса и физико-химические свойства радионуклидов неоднородны, они менялись в различные периоды времени и зависели от направления и расстояния от ЧАЭС.

Природно-климатические условия играют главенствующую роль в формировании радиационной обстановки на территориальном уровне.

Следы радиоактивного загрязнения по приуроченности к водным бассейнам крупных рек первого порядка условно подразделяются на Припятский, Неманский, Днепровский и Сожский. Три последних следа находятся в зоне смешанных широколиственных лесов. Припятский след расположен в пределах Белорусского Полесья, где располагается Национальный парк «Припятский».

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» [4] парк относится к территории периодического радиационного контроля. Концепция обеспечения радиэкологической безопасности биоты предусматривает положение, согласно которому, если радиологическими стандартами защищён человек, то защищена и биота в целом [5]. Глобальное радиоактивное загрязнение природных экосистем поставило перед наукой задачи не только по достоверному познанию реакции природных экосистем на избыточную радиоактивность, но и по выработке действенных мер по защите от неё биологических объектов.

Национальный парк «Припятский» является частью агроклиматического района, который входит в Южную тёплую неустойчиво-влажную агроклиматическую область. Уровень суммарной радиации Национального парка «Припятский» варьирует от 3950-4050 Мдж/м² в год. Прямая радиация составляет 1850-2000 Мдж/м², рассеянная – 2050-2100 Мдж/м². Годовой радиационный баланс составляет 1700 Мдж/м², Годовой баланс коротковолнового и эффективного излучения около 3000 и 1300 Мдж/м² соответственно. Длительность солнечного сияния в Национальном парке «Припятский» варьирует от 1800-1850 часов в год.

Среди экстремальных климатических явлений наблюдаются засушливые явления (сумма среднемесячных осадков меньше 70% нормы) в теплое время года (чаще приходится на август), а также наводнения (сумма среднемесячных осадков более 170% нормы) – октябрь и июнь. В целом район расположения Национального парка «Припятский» характеризуется пониженной влагообеспеченностью, повышенными теплообеспеченностью и дефицитом влажности воздуха. При этом южная часть парка имеет минимальное количество влажных и наибольшее число сухих дней в году, а также наименьшую относительную влажность воздуха в Беларуси. Прослеживается тенденция иссушения климата. В последние десятилетия происходит рост температуры в зимнее время, падение скорости ветра, некоторое увеличение осадков в первую половину лета и в декабре, рост повторяемости экстремальных климатических явлений в отдельные сезоны года, что обусловлено влиянием глобальных и региональных антропогенных факторов.

Территория Национального парка «Припятский» находится в междуречье рек Ствига (на западе), Уборть (на востоке) и Припять (на севере) и характеризуется наличием развитой сети придаточных водоемов (затоны, старичные и пойменные озера). Гидрографическая сеть парка представлена речными и мелиоративными системами, а также озерами преимущественно старичного типа.

В составе речной сети ведущая роль принадлежит реке Припять. Припять – средняя по величине река Черноморского бассейна – пересекает парк в северной части с запада на восток и оконтуривает его северо-восточную границу. Протяженность реки в пределах парка составляет 54,4 км, ширина русла – 100-170 м. В 0,1–3 км от северо-западной границы парка (по границе его охранной зоны) на протяжении 48,5 км протекает правый приток Припяти река Ствига, шириной 20–60 м. На востоке на протяжении 11,5 км территорию ограничивает река Уборть, ширина которой составляет 30–40 м. Парк с севера на юг пересекают малые речки Свиновод (22,5 км), Беянка (6,7 км), Мутвица (5,1 км), Снядинка (4,5 км), ручьи Крушинный (3,5 км), Лучинец (1,7 км). Большинство из них в той или иной степени канализованы. Общая протяженность речной сети правых притоков Припяти составляет 158,4 км. В левобережной части парка вдоль северо-западной границы протекают канализованные речки Науть (6,3 км) и Скрипица (4,5 км), вдоль восточной границы проложен Найдо-Белевский канал. В пределах лесного массива сохранилась речка Утвоха (8,1 км), которая в связи с осушительной мелиорацией болот в верховье (за пределами парка) лишилась источника питания и превратилась в сезонно-проточный водоток. В парке насчитывается 526 озер общей площадью 504 га. Доминируют (70%) малые по размерам (до 0,5 га) мелководные (до 5 м) пойменные озера старичного, эвтрофного типа реки Припять, периодически заливающиеся водами в паводке и паводки. Существует несколько озер остаточного типа.

Исследования 2013 года показали, что величина удельной активности ^{137}Cs в рыбе каждого вида колебалась в узких пределах (таблица 1), и уровень загрязненности каждой выловленной особи соответствовал нормативам РДУ-99 (370 Бк/кг).

Установлено, что максимальной загрязненностью характеризуются язь, щука и окунь, минимальной – лещ. Однако значения показателей максимальной и минимальной удельной активности радиоцезия могут колебаться в ту или иную сторону под влиянием множества факторов.

Для обобщения характеристики загрязнения различных видов рыб Национального парка «Припятский» были выделены и проанализированы средние показатели удельной активности ^{137}Cs .

Таким образом, определен убывающий ряд видов речной рыбы по величине средней удельной активности ^{137}Cs : окунь > щука > язь > лещ > сом. Данный ряд хорошо отражает эффект трофических уровней, по которому концентрация радиоцезия в теле хищных видов рыб больше, чем у рыб фитофагов и смешанного вида питания.

В 2018 году в Национальном парке «Припятский» были проведены радиоэкологические исследования на предмет изучения уровня загрязнения ^{137}Cs рыбы, обитающей в реке Припять и в прилегающих старичных озерах. Межвидовые различия загрязненности всех изученных видов рыб представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические показатели удельной активности ^{137}Cs в рыбе старичных озер в 2018 г.

Статистические показатели	Вид рыбы							
	Лещ	Щука	Сазан	Сом	Жерех	Густера	Линь	
n	100	13	13	10	3	95	25	
min	4,3	8,97	4,90	10,16	13,26	6,60	7,65	
max	15,4	13,27	11,23	17,07	15,64	19,80	16,43	
M	8,0	10,8	7,4	12,3	14,1	11,1	11,8	
±m	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,2	0,5	
σ	2,1	1,4	1,9	2,0	1,3	2,0	2,3	
V	26,5	13,0	26,0	16,2	9,5	17,7	19,5	
P	2,7	3,6	7,2	5,1	5,5	1,8	3,9	
	Карась	Язь	Синец	Красноперка	Толстолобик	Плотва	Окунь	
n	6	26	100	81	6	70	64	
min	9,72	6,58	4,0	7,50	6,51	6,30	10,1	
max	18,18	12,81	11,9	15,20	10,73	14,60	17,5	
M	12,0	10,0	6,7	11,0	8,8	9,9	13,3	
±m	1,3	0,3	0,1	0,2	0,6	0,2	0,2	
σ	3,2	1,6	1,3	1,6	1,4	1,9	1,9	
V	26,4	16,1	19,8	14,3	16,1	18,9	14,2	
P	10,8	3,1	2,0	1,6	6,6	2,3	1,8	

Самые высокие абсолютные показатели радиационного загрязнения установлены в образцах карася и густеры, наименьшие – в тушках леща, сазана и синца.

Статистически достоверные различия на 99,9%, 99% и 95% уровнях значимости установлены в 47,2%, 13,2%, 6,6% случаев соответственно. Коэффициент вариации средних величин изменялся от 9,5 до 26,5%, что укладывается в диапазон нормального варьирования. Точность исследований определена на уровне 1,6 – 10,8% при низких показателях ошибки средних величин (до 1,3 Бк/кг).

Таким образом, определен убывающий ряд видов речной рыбы по величине средней удельной активности ^{137}Cs : жерех > окунь > сом > карась > линь > густера > красноперка > щука > язь > плотва > толстолобик > лещ > сазан > синец.

Следует отметить, что в 2018 г. распределение концентрации ^{137}Cs в соответствии с эффектом трофических уровней сохранилось и радиоактивная загрязненность хищных видов была несколько выше по сравнению с рыбами смешанного питания и фитофагами.

Для большинства видов рыб характерно постепенное снижение средней удельной активности с течением времени. Однако в 2016 году у всех исследованных видов рыб, кроме язя и леща, наблюдалось незначительное увеличение средней удельной активности радионуклида. Небольшой рост показателя также наблюдался в 2017 году у краснопёрки, линя и язя. По данным 2018 года установлено снижение показателей средней удельной активности ^{137}Cs у всех исследованных видов рыб.

Представляет интерес изучение потенциальной дозы внутреннего облучения населения за счёт употребления выловленной рыбы. Это важно в связи с возможностью оценить максимальный отрицательный эффект и риски от использования продукции при проживании на загрязненных радионуклидами территориях. В таблице представлены расчетные значения потенциальной среднегодовой дозы облучения для населения потребляющего рыбу из Национального парка «Припятский» в 2018 г.

На основании полученных данных построен возрастающий ряд потенциальной дозы облучения для населения потребляющего рыбу из Национального парка «Припятский» по видам рыб: синец > сазан > лещ > плотва > язь > щука > краснопёрка > густера > карась > сом > окунь > жерех.

Среднегодовая доза облучения от потребления пресноводной рыбы выловленной в парке составила $0,550 \times 10^{-3}$ мЗв/в год, что значительно ниже порогового значения 1 мЗв/в год.

Таблица 2 – Расчетные значения потенциальной среднегодовой дозы облучения для населения потребляющего рыбу из водоемов Национального парка «Припятский» в 2018 г.

Вид	Доза облучения ($\times 10^{-3}$ мЗв/в год)
Сазан	0,348
Щука	0,558
Карась	0,62
Окунь	0,687
Сом	0,636
Жерех	0,729
Плотва	0,511
Краснопёрка	0,569
Линь	0,61
Синец	0,346
Густера	0,574
Язь	0,517
Лещ	0,413
Среднегодовая доза облучения населения от потребления рыбы загрязнённой радиоцезием ($\times 10^{-3}$ мЗв/в год)	
0.55	

В соответствии с градацией уровней риска, предложенной Всемирной организацией здравоохранения в 2000 г., уровень пренебрежимого риска составляет мЗв/ в год. Суммарный риск для населения потребляющего рыбу из водоемов Национального парка «Припятский» является минимальным. Дозы внутреннего облучения для взрослого населения от употребления рыбы из водоемов Национального парка «Припятский» варьируют от $0,348 \times 10^{-3}$ до $0,729 \times 10^{-3}$ мЗв/в год, что значительно ниже порогового значения 1 мЗв/в год. Среднегодовая доза облучения от потребления пресноводной рыбы выловленной в парке составила $0,550 \times 10^{-3}$ мЗв/в год. В соответствии с градацией уровней риска, предложенной Всемирной организацией здравоохранения в 2000 г., уровень пренебрежимого риска составляет 10^{-6} . Суммарный риск для населения потребляющего рыбу из водоемов Национального парка «Припятский» является минимальным.

Исследование состояния ихтиофауны Национального парка «Припятский» показало, что уровень загрязнённости радиоцезием различных видов рыб не превышает допустимого норматива РДУ-99 (370 Бк/кг). Однако сезонные и годовые вариации этого параметра создают определённые уровни риска для населения употребляющего рыбу выловленную в водоемах данной территории. Исходя из этого нами предложены меры по уменьшению попадания ^{137}Cs в организм человека при употреблении пресноводной рыбы. Любителям рыбной ловли на территории Национального парка «Припятский», а также других территорий подвергшихся радиоактивному загрязнению необходимо взять себе на заметку, что рыбу следует ловить только в проточных водоемах, например, в реках, а также в искусственно созданных водохранилищах, где для выращивания растительоядных рыб используют чистые корма. В водоемах, которые находятся на загрязненных территориях, и особенно лесных, где сохраняется более высокая концентрация радионуклидов, ловить рыбу, и прежде всего жерева, сома, щуку и окуня, не следует. При приготовлении рыбы из водоёмов расположенных на загрязненной радионуклидами территории, необходимо следовать правилам: первое и основное правило – проверять улов в местных центрах радиационного контроля на предмет содержания в рыбе радионуклидов; использовать для кулинарной обработки только филе рыбы; при варке – первый бульон всегда сливать. При превышении содержания в рыбе радиоцезия сверх установленных норм РДУ-99 (370 Бк/кг) исключить такую рыбу из рациона и утилизировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жукова, О. М. Формирование и динамика распространения радиоактивного загрязнения в реках Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС / О.М. Жукова, И.И. Матвеев, Н.К. Мышкина. – Инженерно-физический журнал. – Т.70, №1. – 1997. – С.73-81.
2. Кудельский, А. В. Радионуклиды чернобыльского происхождения в речном стоке Беларуси / А.В. Кудельский, В.И. Пашкевич, А.А. Петрович; под ред. О.М. Жуковой. – Водные ресурсы. – Т.24, №3. – 1997. – С. 304-310.
3. Израэль, Ю. А. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. / Ю.А.Израэль. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 296 с.
4. Ипатъев, В. А. К методологии современных исследований радиоактивно загрязнённых лесных экосистем / В.А. Ипатъев // Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязнённых землях: Сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Выпуск 60. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2004. – 474 с.
5. Войцехович, О. В., Анализ формирования радиоактивного загрязнения Днепровской водной системы в течение пяти лет после Чернобыльской аварии / О.В. Войцехович, И.И. Канивец, Г.В. Лаптев. – Труды УкрНИГМИ, 1993. – С. 106-127.