

## Особенности аккумуляции $^{137}\text{Cs}$ почвенно-растительным покровом пойменного луга р. Сож

С.Ф. ТИМОФЕЕВ, Н.И. КАРПЕНКО

На территории пойменного луга изучали распределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвенно-растительном покрове и воде. Основное количество радионуклида сосредоточено в слое почвы 0–10 см. В течение 2019–2020 гг. среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  для Осоковых и Злаков составило 168–296 Бк/кг. В последующие 2022–2023 гг. выявлена тенденция повышения удельной активности радионуклида в изучаемых группах. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в луговой растительности зависела от повторяемости или отсутствия половодья. Превышение нормативных значений по данному параметру зафиксировано в единичных пробах. Установлено, что масса взвешенных веществ в воде варьировала в широких пределах и в отдельных случаях значительно превышала предельно допустимые уровни. Прозрачность воды по Секки составляла от 50 см до 150 см. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в воде варьировало от минимальной детектируемой активности прибора до 10 Бк на литр.

**Ключевые слова:** речная долина, половодье, пойменный луг, почва, луговые растения,  $^{137}\text{Cs}$ , водоем.

The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil-vegetation cover and water was studied in a water meadow. The main amount of radionuclide is concentrated in the soil layer 0–10 cm. During 2019–2020, the average  $^{137}\text{Cs}$  content for sedges and cereals was 168–296 Bq/kg. In the subsequent 2022–2023, a trend towards an increase in the specific activity of the radionuclide in sedges and cereals was revealed. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in meadow vegetation depends on the frequency or absence of floods. Exceeding the standard values for this parameter was recorded in single samples. It was established that the mass of suspended substances in water varied within wide limits. In some cases, it significantly exceeded the maximum permissible levels. The Secchi transparency of water ranged from 50 to 200 cm. The content of  $^{137}\text{Cs}$  in water varied from the minimum detectable activity of the device to 10 Bq per liter.

**Keywords:** river valley, flood, floodplain meadow, soil, meadow plants,  $^{137}\text{Cs}$ , pond.

**Введение.** После катастрофы на ЧАЭС в атмосферу было выброшено огромное количество радионуклидов, которые осели на территории водоемов, берегах рек и пойменных земель. Основные поллютанты на территории Республики Беларусь – это  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  [1]–[3]. Радионуклиды мигрируют в экосистемы и понижают качество получаемой продукции. Усугубляющим фактором является эвтрофикация водоемов [2]–[5].

Наиболее осложненная обстановка наблюдается на территории пойменных лугов и речных долин, расположенных в окрестностях близлежащих мелиорированных земель. Это связано с тем, что мелиорированные земли не только подвергаются регулярной обработке, но на них вносят удобрения и пестициды. Зачастую такие водоемы значительно эвтрофированы [6]–[8]. Существование данной проблемы сказывается не только на качестве получаемой продукции, но и на себестоимости кормов [9]–[11]. Как известно, наиболее выгодным кормом, в силу стоимости и качества, является растительная масса, продуцируемая пойменными лугами. Одним из параметров, снижающим качество этой продукции, является загрязнение радионуклидами [12]–[14].

С учетом данных обстоятельств на протяжении 2019–2023 гг. исследовали луговую экосистему, расположенную в окрестностях населенного пункта Шерстин Ветковского района Гомельской области. Населенный пункт находится в зоне с правом на отселение, где среднегодовая эффективная доза облучения населения может превысить 1 мЗв в год.

**Цель работы.** На основании изучения распределения  $^{137}\text{Cs}$  на элементах речной долины оценить динамику изменения радиозоологической ситуации в экосистеме.

**Задачи:** 1. Оценить распределение и перераспределение радиоцезия по профилю почвы. 2. Осуществить анализ динамики накопления радионуклида в растительном покрове пойменного луга. 3. Изучить содержание радиоизотопа в воде, водных и прибрежно-водных растениях.

**Материалы и методы.** Сопряженные растительные и почвенные пробы отбирали в ходе экспедиционных работ. Для этого на выделенных площадках срезали растения и раскла-

дывали по агроботаническим группам. На этих же площадках с помощью пробоотборника диаметром 83 мм по горизонтам отбирали почву.

Отборы проб воды и гидрофитов, определение параметров водоема осуществляли с использованием плавсредства в виде лодки. Маршрут движения по озеру определяли с помощью навигатора. Глубину озера по маршруту определяли лотом. Прозрачность воды осуществляли методом Секки [11]. Видовой состав растительности был определен с помощью «Определителя высших растений Беларуси» Т.А. Сауткина 1999 г. Отбор воды осуществляли с помощью батометра Петтерсона.

В камеральных условиях изучали параметры аккумуляции  $^{137}\text{Cs}$  в образцах отобранных проб почвы, луговых растений, воды и гидрофитов с помощью гамма-спектрометрического комплекса Canberra с полупроводниковыми детекторами.

**Результаты исследований и обсуждение.** Проведение НИР было начато в 2011 г. На территории речной долины в окрестностях н.п. Шерстин Ветковского района был выделен ландшафтно-экологический профиль. Направление профиля 42 градуса по азимуту и длина около 2000 м. На выделенном ландшафтно-экологическом профиле было сформировано 3 почвенных разреза. Отбор проб почвы проводили по горизонтам.

Установлено, что среднее содержание радионуклида в горизонте 0–7 см составляло 1672 Бк/кг. По состоянию на 2011 г. более 90 % радиоцезия находилось в верхнем горизонте почвы. В среднем в горизонте 0–7 см содержалось  $93,9 \pm 1,0$  %. Следы радионуклида были выявлены на глубине до 90 см.

Необходимо отметить, что в этот год наблюдалось обычное затопление пойменного луга, которое до 2015 г. было регулярным. Наши исследования проводились по периодам, 2019–2020 и 2022–2023 гг. Первый период характеризовался отсутствием затопления, а второй период – наличием затопления.

Результаты почвенного обследования через 8 лет показали заметные изменения в распределении радионуклида по профилю. По состоянию на 2019 г. содержание радиоцезия в горизонтах 0–5 см было в пределах от 59 до 91 %, слое 5–10 см от 5 до 38 %, слое 10–15 см от 1,5 до 3 %, и слое 15–20 см было около 0,5–1,6 %. Среднее содержание радионуклида в горизонте 0–5 см составляло  $78,7 \pm 17,6$  %.

Через три года, то есть в 2022 г. содержание радиоцезия в горизонте 0–5 см было в пределах от 61 до 94 %, при среднем значении  $82,1 \pm 9,5$  %.

Из приведенных результатов следует, что основное количество радиоцезия продолжает оставаться в верхнем слое почвы.

Можно отметить, что в период 2011–2019 гг. имело место существенное снижение изотопа в верхнем горизонте почвы. В период 2019–2022 гг. заметного изменения по данному параметру не выявлено. В немалой степени это может быть связано как с продолжительностью периода между отборами проб, так и с тем, что на протяжении 7 лет, то есть с 2015 по 2021 гг. затопления луга не было.

Как уже ранее отмечалось, первоначальные исследования были начаты в 2011 г. Содержание изотопа цезия в луговой растительности на территории речной долины было в пределах от 66 до 8847 Бк/кг при среднем значении около 2434 Бк/кг. Минимальное количество радионуклида было выявлено в травостое прирусловой поймы, около  $652 \pm 82$  Бк/кг, и надпойменной террасы, около  $478 \pm 60$  Бк/кг.

Для оценки радиоактивного загрязнения луговой растительности в 2019 г. произвели необходимые отборы и анализы проб. Результаты обработки данных приведены на рисунке 1.

В 2019 г. среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  для группы Злаков и Осоковых составило 168–254 Бк/кг. Прежде всего необходимо отметить существенное снижение содержания радиоизотопа в травостое. В 2020 г. среднее содержание радионуклида в осоках и злаках составляло соответственно 268 и 296 Бк/кг. Отсюда следует, что заметных различий по сравнению с 2019 г. не выявлено.

Как было отмечено ранее, в 2022–2023 гг. был зафиксирован разлив р. Сож во время половодья. Для того, чтобы определить распределение и миграцию  $^{137}\text{Cs}$  в элементах пойменного луга отбирали растительные образцы на 14 участках. Удельная активность радиоцезия в разнотравье составила от 95 до 2195 Бк/кг (рисунок 1). В группе Злаков и Осоковых средняя удельная активность изотопа составляла соответственно 382 и 505 Бк/кг. В условиях 2023 г. выявлено также увеличение удельной активности радионуклида в группе осоковых и злаков.

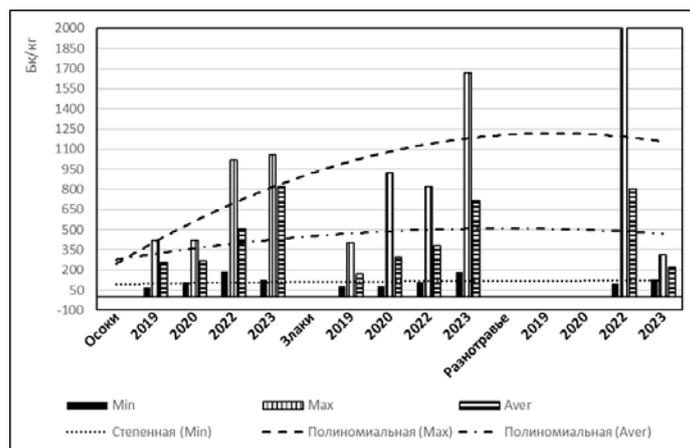


Рисунок 1 – Динамика содержания <sup>137</sup>Cs в травостое

Анализ полученной информации показал, что значительного превышения нормативов по содержанию радионуклида в период 2019–2023 гг. за исключением отдельных случаев выявлено не было.

Существенное влияние на радиоэкологическую ситуацию на изучаемом полигоне оказывает затопление пойменного луга. В своих исследованиях в силу ряда причин приходилось лишь фиксировать наличие или отсутствие затопления. Затопление пойменного луга всегда было связано с общим уровнем воды в реке Сож.

После периода отсутствия затопления пойменного луга в весенний период 2022 г. было зафиксировано половодье. По данным Белгидромета, и по нашим наблюдениям, в результате сезонных паводков в Гомельской области наблюдалось повышение уровня воды в реке Сож, в том числе и на изучаемом участке. На протяжении 2022–2023 гг. наблюдалась тенденция роста уровня воды весной во время паводков.

Существенное влияние на развитие растительного покрова оказывают многие параметры водоема, в том числе глубина и содержание взвешенных веществ.

Глубина озера Кривое связана не только со сбросами воды с мелиорированных земель, но и регулярным затоплением водой из реки Сож. Глубина водоема в 2019 г. варьировала от 50 см (в самых мелких участках водоема) до 150 см (в самых глубоких). За 3 года она уменьшилась в 3 раза и в 2021 г. не превышала 50 см, что связано с отсутствием затопления пойменного луга. Была зафиксирована флуктуации растительных сообществ, видовое разнообразие водоема уменьшилось. При возобновлении весенних паводков в 2022–2023 гг. глубина водоема возросла до 200 см, тем самым превысив показатели 2019 г.

Для общей оценки состояния водоема производили оценку распространения прибрежно-водных и водных растений (рисунок 2).

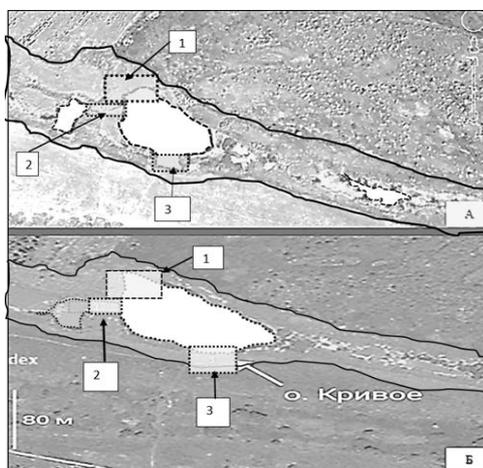


Рисунок 2 – Фрагмент озера Кривое: А – 2020 г.; Б – 2023 г.; контур 1–3 элементы озера, занятые прибрежно-водными и водными растениями

В 2020 г. на контуре 1 преобладают ситник и осока. На контуре 2 отмечается доминирование телореза обыкновенного и ряски малой. Контур 3 свободен от растительности, присутствуют в небольшом количестве лишь представители рясковых.

В 2023 г. по сравнению с 2020 г. контур 1 в основном составляет свободная от гидрофитов водная поверхность. В контуре 2 наблюдается чистое зеркало воды, гидрофиты сосредоточены лишь по нижнему краю, преобладает камыш. В контуре 3 отмечается увеличение проективного покрытие прибрежно-водной растительности и смещение линии берега в сторону озера. Доминирующими видами являются телорез и ряска. С повышением уровня воды видовое разнообразие гидроэкосистемы обогатилось.

Вернулись ранее исчезнувшие представители видов *Nuphar lutea* L., *Nymphaea alba* L. Данный факт свидетельствует о дальнейшем протекании процесса флуктуации растительных сообществ. Свободная от гидрофитов площадь зеркала озера увеличилась, мелководные растения, в особенности *Stratiotes aloides* L., занимают значительно меньшую территории акватории, что связано с разливом реки и увеличением объема воды в водохранилище. Таким образом, на протяжении всего периода исследований происходили существенные изменения целого ряда морфологических параметров водоема.

Для определения прозрачности и мутности воды отбирали пробы, двигаясь по заранее промеренной траектории. Для этого на определенных расстояниях останавливали и фиксировали лодку, воду отбирали батометром Петтерсона. Параметры прозрачности воды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Прозрачность воды по Секки, м

Год	Расстояние от берега, м					Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>
	5	15	30	45	50	
2019	1	1	1	1,5	1	
2020	0,5	1	1	1	1	
2021	до 0,5					526
2022	1	1	1	1,5	1,5	83
2023	1	1	1	1	1,5	75

Содержание взвешенных веществ в воде значительно превышает предельно допустимые уровни (5 мг/дм<sup>3</sup>), установленные «Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16» (рисунок 3).

Для оценки влияния количества взвешенных в воде веществ на прозрачность произвели соответствующие исследования. Установлена отрицательная корреляция ( $K_{\phi} - 0,99988$ ) между прозрачностью воды и средним содержанием взвешенных веществ. Полученные данные свидетельствуют о влиянии затопления пойменного луга на изменение глубины и прозрачности озера.

Содержание <sup>137</sup>Cs в воде на протяжении всего исследования находилось в пределах до 10 Бк/л.

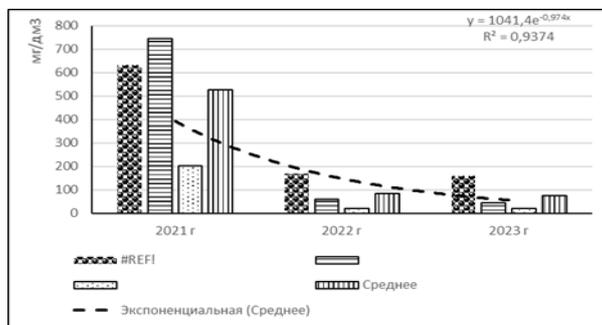


Рисунок 3 – Содержание взвешенных веществ в пробах воды

Для оценки радиоактивного загрязнения прибрежно-водных растений на протяжении 2019–2023 гг. производили отбор соответствующих проб. Прибрежно-водная и водная растительность представлены довольно ограниченным количеством видов. Это камыш озерный,

ситник лягушачий, осока острая. Водные растения представлены телорезом обыкновенным, кубышкой желтой, роголистником погруженным, ряской малой. Минимальное и максимальное содержание радионуклида составляло от 5 Бк/кг для ситника до 271 Бк/кг для роголистника. Среднее содержание радионуклида в прибрежно-водной и водной растительности составляло от 38 Бк/кг в 2020 г. до 226 Бк/кг в 2022 г.

Установлено, что с уменьшением глубины водоема увеличивается содержание  $^{137}\text{Cs}$  в основном у мелководных растений (*Stratiotes aloides* L.). С увеличением глубины повышается содержание  $^{137}\text{Cs}$  у гидрофитов, полностью погруженных в воду (*Ceratophyllum demersum* L.), и прибрежно-водных растений, произрастающих вблизи водоема (*Carex acuta* L., *Sambucus racemosa* L.).

**Заключение.** Наибольшая удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  характерна для верхнего слоя почвы. Установлено, что в период 2011–2019 гг. имело место существенное снижение изотопа в верхнем горизонте почвы. В период 2019–2022 гг. заметного изменения по данному параметру не выявлено.

В течение 2019–2020 гг. среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  для Осоковых и Злаков составило 168–296 Бк/кг. В последующие 2022–2023 гг. выявлена тенденция повышения удельной активности радионуклида в изучаемых группах. Вероятно, это связано с влиянием затопления.

В условиях постоянного режима увлажнения, сформированного половодьем, происходит уменьшение удельной активности радиоцезия в растительности.

При отсутствии затопления существенного изменения удельной активности радионуклида в луговой растительности не происходит.

В условиях возобновления половодья после его отсутствия происходит увеличение удельной активности изотопа цезия в растительности луговых экосистем.

Таким образом, можно предположить, что существует определенная цикличность в формировании уровня радиоактивного загрязнения травостоя. Эта цикличность имеет затухающий характер и связана с режимами затопления.

Превышение нормативных значений по содержанию радионуклида в травостое выявлено лишь в единичных пробах.

Глубина водоема в период 2019–2023 гг. составляла от 50 до 200 см. Прозрачность воды по Секки изменялась с течением времени и составляла от 50 до 150 см. Масса взвешенных веществ в воде варьировала в зависимости от места взятия водных проб и значительно превышает предельно допустимые уровни. Выявлена отрицательная корреляция между прозрачностью водоема и средним содержанием взвешенных веществ. Это безусловно приводит к процессам эвтрофикации водоема.

## Литература

1. Воронов, С. И. Закономерности миграции радионуклидов в природных биогеоценозах и аграрных экосистемах на территории Московской области / С. И. Воронов // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1, № 9. – С. 154–159.
2. Парамонова, Т. А. Сравнительный анализ поступления  $^{137}\text{Cs}$  в луговую растительность районов черноземной зоны, в различной степени загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС / Т. А. Парамонова, Е. Н. Шамшурина, В. Р. Беляев [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – Т. 57, № 4. – С. 429–439.
3. Журова, В. Г. Изучение влияния ионов калия, кальция и магния на рост и развитие растений / В. Г. Журова, М. С. Светличная // Достижения науки и образования. 2018. – № 14 (36). – С. 13–15.
4. Иванова, Н. Н. Оценка перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  экзогенными процессами в днище долины р. Плава (Тульская область) после аварии на Чернобыльской АЭС / Н. Н. Иванова, Е. Н. Шамшурина, В. Н. Голосов [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 24–34.
5. Пучков, А. В. Особенности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в тундровых ландшафтах Российской Арктики (на примере бассейна реки Несь, Канинская Тундра) / А. В. Пучков, Е. Ю. Яковлев // Вестник геонаук. – 2023. – № 1 (337). – С. 42–51.
6. Дайнеко, Н. М. Динамика луговых сообществ поймы р. Беседь в Ветковском районе Гомельской области (Республика Беларусь) / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев. – Брянск : РИСО БГУ, 2020. – 72 с.

7. Дайнеко, Н. М. Радиоэкологический мониторинг поймы р. Беседь Ветковского района после катастрофы на ЧАЭС / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Экология родного края : проблемы и пути их решения : XVI Всероссийская науч.-практ. конф., Киров, 27–28 апреля 2021 г. / ФГБОУ ВО ВятГУ ; редкол.: В. Н. Пугач [и др.]. – Киров : ВятГУ, 2021. – 445 с.
8. Бураева, Е. А. Радионуклиды в наземных экосистемах природно-техногенной территории Новочеркассовской ГРЭС / Е. А. Бураева, В. В. Чечеватова, А. И. Саевский [и др.] // Экология промышленного производства. – 2020. – № 3 (111). – С. 45–49.
9. Романова, М. Л. Тенденции изменений естественных лугов Припятского Полесья / Л. М. Романова, Г. В. Ермоленкова // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету : матэр. V Міжнар. канф., Мінск–Белавежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. – Мінск : Колорград, 2018. – С. 155–157.
10. Дайнеко, Н. М. Содержание цезия-137 в прибрежно-водной растительности Ветковского и Чечерского районов Гомельской области Республики Беларусь / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 15–19.
11. Андреев, Ю. А. Методика измерений температуры, прозрачности и определение запаха воды / Ю. А. Андреев, А. А. Назарова, И. А. Рязанцева // Минприроды России. – Ростов-на-Дону, 2018. – 10 с.
12. Тимофеева, Т. А. Применение ГИС-технологий для прогнозирования радиоактивного загрязнения травостоя пойменных экосистем / Т. А. Тимофеева // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2013. – № 5 (80). – С. 150–158.
13. Тимофеева, Т. А. Латеральные геохимические барьеры трансупераквальных ландшафтов (на примере поймы р. Сож) / Т. А. Тимофеева // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2017. – № 3 (102). – С. 66–71.
14. Timofeeva, T. A. Geochemical barriers of the Sozh river floodplain / T. A. Timofeeva, Gong Jia Liang // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : сб. матер. VII Международной науч.-практ. конф., Гомель, 6–7 июня 2024 г. / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: О. В. Ковалёва (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. – С. 295–297.