

УДК 504.5:546.36*137:581.526.452(282.247.321.7)

С. Ф. Тимофеев, Н. И. Карпенко

ПАРАМЕТРЫ МИГРАЦИИ ^{137}Cs В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ПОЙМЕННОГО ЛУГА РЕКИ СОЖ

Во введении указан объект исследования – экосистема пойменного луга р. Сож. Цель работы – оценить радиозоологическую нагрузку биогеоценоза р. Сож на фоне изменения климатических условий и периодов затопления. Описано место проведения исследования – нп. Шерстин Ветковского района Гомельской области. В основной части изложены результаты проведенных исследований, в ходе которых было установлено, что основное количество радионуклида по-прежнему остается в верхнем гумусово-аккумулятивном (A1) почвенном горизонте – до 30 см. С 2019 по 2025 г. продолжается перераспределение ^{137}Cs по почвенным горизонтам. Плотность загрязнения радионуклидом за время проведения исследований варьировалась от 1288 кБк/м² в 2019 г. до 532 в 2025 г. По накоплению изотопа цезия в убывающем ряду группы сообществ можно расположить следующим образом: бобовые > разнотравье > осоки > злаки. Наиболее активное накопление радиоцезия демонстрируют бобовые и разнотравье (КП > 1). На основании полученных данных по КП установлены фитоценотические барьеры луговой экосистемы, представленные изучаемыми сообществами. Наблюдается рост динамики удельной активности радиоцезия на фитоценотических барьерах с 2019 по 2025 г. Повышение удельной активности радиоцезия в некоторых группах изучаемых растительных ассоциаций коррелирует с затоплением поймы. В заключении статьи по итогам целенаправленных исследований сделаны соответствующие выводы. Полученные данные вносят вклад в изучение миграции ^{137}Cs в подвижных экосистемах при колебании гидрологического режима и могут быть использованы специалистами в области животноводства для повышения качества заготавливаемых кормов.

Ключевые слова: пойма, миграция, радиоцезий, агроботанические группы, фитоценотические барьеры, радиозоологическая обстановка.

Введение. В настоящее время, в период военных конфликтов и экономической нестабильности в мировом сообществе, важнейшим составляющим продовольственной безопасности является устойчивость сельского хозяйства. Между тем для любой страны особенно важным являются качество и доступность кормов. В Республике Беларусь до 1986 г. наиболее экологически чистые и дешевые корма для животноводства получали с территорий заливных или пойменных лугов.

После катастрофы на ЧАЭС значительная часть пойменных лугов подверглась радиоактивному загрязнению. В связи с этим существует необходимость в проведении мониторинга и формировании прогнозов изменения качества заготавливаемых травяных кормов.

Физико-химическое состояние радионуклидов в почве, в первую очередь количество их мобильных форм, является определяющим фактором в процессах миграции ^{137}Cs в почвенном профиле. По прошествии времени соотношение легкорастворимых и необменных форм изменяется, такие изменения имеют свои особенности в разных ландшафтах, биоценозах и генетических горизонтах почв [1; 2].

На пойменных землях не всегда приемлемо проведение традиционных защитных мер, направленных на снижение поступления радионуклидов из почвы в растения [3; 4]. В связи с этим существует необходимость дальнейшего изучения путей снижения содержания радионуклидов в рационе сельскохозяйственных животных с учетом специфики и особенностей функционирования экосистем пойменных лугов.

Тимофеев Сергей Фёдорович, канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. биологии ГГУ им. Ф. Скорины (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь; e-mail: timofeev@gsu.by

Карпенко Николай Игоревич, аспирант каф. биологии ГГУ им. Ф. Скорины (Беларусь); науч. рук. – С. Ф. Тимофеев, канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. биологии ГГУ им. Франциска Скорины (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь; e-mail: nkarpenko@gsu.by

Приоритетными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и последующей пятилетки являются экологическая и радиационная безопасность, улучшение качества продовольственной и сельскохозяйственной продукции [5; 6]. Таким образом, одной из актуальных задач является мониторинг радиоэкологической обстановки загрязненных сельскохозяйственных угодий – источников получения экономически доступных кормов для скормливания скоту.

Исходя из вышеизложенного, нами проводились исследования фрагмента биогеоценоза р. Сож, который располагается в окрестностях д. Шерстин Ветковского района Гомельской области. Этот населенный пункт, согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 8 февраля 2021 г. № 75, относится к зоне с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 от 185 до 555 кБк/м² (от 5 до 15 Ки/км²), или стронция-90 от 18,5 до 74 кБк/м² (от 0,5 до 2 Ки/км²), или плутония-238, 239, 240 от 0,74 до 1,85 кБк/м² (от 0,02 до 0,05 Ки/км²), на которой средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над уровнем естественного и техногенного фона) 1 мЗв [7].

Биогеоценоз представляет собой фрагмент поймы р. Сож с различной периодичностью сезонного затопления и процессами перераспределения ¹³⁷Cs в почвенно-растительном покрове пойменного луга. Следует отметить, что луговая экосистема служит сенокосом и пастбищем для скота. Сельскохозяйственные животные потребляют в качестве корма естественную луговую растительность, включающую злаково-бобовые ассоциации и разнотравье [8]. Качество кормов имеет первостепенное значение при организации полноценного кормления скота. Низкое качество кормов приводит к большому перерасходу концентратов при кормлении высокопродуктивных животных, что может спровоцировать различные заболевания. Ограничивает потребление кормов радиоактивное загрязнение [9; 10]. Для оценки качества зеленых кормов на изучаемом объекте проводили соответствующие исследования.

Как известно, ¹³⁷Cs является искусственным радионуклидом, образующимся преимущественно при делении ядер в атомных реакторах. Он имеет сходство признаков с естественным радионуклидом ⁴⁰K, который, в свою очередь, обладает хорошей мобильностью и миграционной способностью, особенно при изменении гидрологического режима. Как и ⁴⁰K, ¹³⁷Cs свободно перемещается током воды, а также характеризуется высокой сорбционной способностью в верхних почвенных горизонтах и донных осадках застойных водоемов, где он закрепляется и аккумулируется [11].

Для определения динамики процессов аккумуляции и миграции радионуклидов в течение ряда лет проводились соответствующие исследования.

Основная часть

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в окрестностях д. Шерстин Ветковского района Гомельской области. Экспериментальные пробы отбирали в ходе экспедиционных работ. Для этого выделяли 4 площадки, по одной для каждой агроботанической ассоциации (злаки, бобовые, осоковые, разнотравье). Растения срезали ножом, после чего с помощью пособия «Определитель высших растений Беларуси» [12], а также пакетов цифровых прикладных программ PlantNet и PictureThis определяли видовой состав растительности. На территории притеррасной поймы для определения морфологии почвы и последующего анализа динамики миграции радионуклида по почвенным горизонтам формировали почвенные разрезы размером 2 × 1 м, глубиной до 1 м, где не было прогона скота. Необходимо отметить, что уровень грунтовых вод не позволял сформировать почвенные разрезы большей глубины. Для более достоверных результатов дополнительно выполняли отбор кернов почвы послойно шагом 5 см на глубину до 20 см специализированным пробоотборником с внутренним диаметром 8,3 см. Конструкция прибора минимизировала смещение слоев почвы. Среднюю пробу для радиометрического анализа отбирали методом квартования [13, с. 17–19]. В камеральных условиях с использованием бета-гамма-спектрометра МКС-АТ1315 изучали параметры содержания ¹³⁷Cs в почвенно-растительных пробах. Радиологический анализ отобранных проб выполняли в Институте радиобиологии НАН Беларуси.

Результаты и их обсуждение

Параметры объекта исследования. Рельеф пойменного луга р. Сож холмисто-грядистый, безлесный, местами болотистый, площадью более 300 га. До 2015 г. наблюдалась регулярность

в сезонной динамике затопления пойменного луга. Начиная с 2015 г. на фоне изменения климата и аномально теплой зимы нами было отмечено отсутствие процессов затопления поймы. Сдвиг температурного показателя воздуха в сторону положительных значений коррелировал с колебанием уровня грунтовых вод, а также препятствовал образованию стойкого снежного покрова. В результате ряда перечисленных факторов приходилось лишь фиксировать отсутствие половодья вплоть до 2021 г. В 2019 г. продуктивность травостоя была незначительной, ввиду постоянного стравливания и вытаптывания, а также отсутствия затопления травостой существенно деградировал.

Почвенные исследования. В соответствии с программой в 2019, 2022, 2025 гг. проводили почвенные исследования луговой экосистемы на основе формирования почвенных разрезов. Согласно методике производили отбор проб почвы в соответствующих почвенных горизонтах или слоях.

Почвенные образцы доставляли в лабораторию, где их распределяли по соответствующим горизонтам и высушивали до воздушно-сухого состояния. В качестве сосуда для спектрометрирования использовали Денту объемом 0,1 л, плотность наполнения сосуда обеспечили путем перетирания воздушно-сухих образцов почвы с последующим просеиванием через сито диаметром 2 мм. Спектрометрический анализ образцов осуществляли с помощью прибора – бета-гамма-спектрометра МКС-АТ1315. Принцип действия спектрометра основан на измерении и преобразовании гамма- и бета-излучения, регистрируемых автономными блоками детектирования, в амплитудные распределения, которые в дальнейшем преобразуются в цифровой код и сохраняются в блоке детектирования. Программное обеспечение гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315 позволяет рассчитывать активность радионуклидов в пробе путем обработки полученных аппаратных спектров методом максимального правдоподобия. Обработке одновременно подвергаются данные гамма- и бета-спектрометрических траектов.

Для более корректной оценки параметров миграции радионуклида по профилю необходимо изложить следующие соображения. Прежде всего, это микроскопические массы загрязняющего радионуклида. Второе. При оформлении и зачистке лицевой стороны профиля несложно переместить часть радионуклидов или возможно вторичное загрязнение с пылью. Наконец, третье. Основная цель формирования почвенного разреза – это морфология почвы и установление классификационных единиц.

В связи с этим в условиях 2019 г., помимо описания почвенного разреза, с помощью пробоотборника диаметром 8,3 см дополнительно выполняли отбор кернов почвы послойно шагом 5 см на глубину 20 см. Полученные результаты достаточно тесно коррелировали с результатами изучения миграции радиоцезия в пробах почвенного разреза, но имеются и различия.

Так, в слоях почвы 0–5 и 5–10 см суммарное количество радиоцезия составляло 95–98 %, а в слоях 10–15 и 15–20 см не превышало и 5 %. Наибольшее количество радионуклида было в слое 0–5 см, от 58 до 92 % при среднем значении 78 %. Для слоя почвы 5–10 см эти параметры составили соответственно 5, 37 и 18 %. Таким образом, в условиях 2019 г. основное количество радионуклида было в слое почвы 0–10 см.

Изучение параметров миграции радионуклидов было продолжено в 2022 г. на десяти контрольных точках. С учетом результатов, полученных в 2019 г., пробы отбирали по слоям 0–10 и 10–20 см. Установлено, что среднее содержание радионуклида в слое 0–10 см составляло 80 ± 9 % при максимальных и минимальных значениях 94 и 61 % соответственно. Для слоя 10–20 см эти параметры составили 20, 39 и 6 % (рисунок 1).

На основании проведенных расчетов было установлено, что средняя плотность загрязнения территории радионуклидом за время проведения исследований варьировала от 1288 кБк/м² в 2019 г. до 532 кБк/м² в 2025 г.

Проведенными исследованиями показана существенная вариабельность изучаемых параметров в зависимости от временных промежутков и глубины почвенного горизонта. Кроме того, несомненной является периодичность воздействия затопления экосистемы.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существовании определенных взаимосвязей между процессами горизонтальной и вертикальной миграцией радионуклида по профилю почвы и регулярностью затопления поймы.

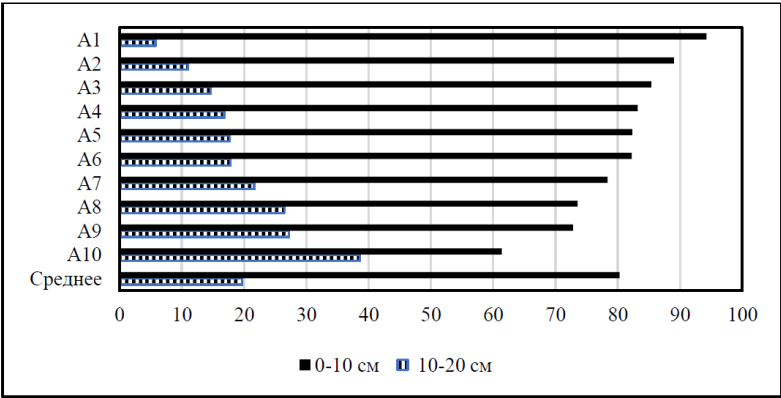


Рисунок 1 – Процентное распределение радионуклида по слоям почвы в 2022 г.

Анализ почвенных проб в 2025 г. по содержанию радионуклида показал, что около 78 % ^{137}Cs находится в слое 0–10 см и 22 % – в слое 11–30 см, следы радионуклида были обнаружены на глубине до 90 см. Полученные результаты исследований свидетельствуют о перераспределении ^{137}Cs по почвенным горизонтам с 2019 по 2025 г. (рисунок 2).

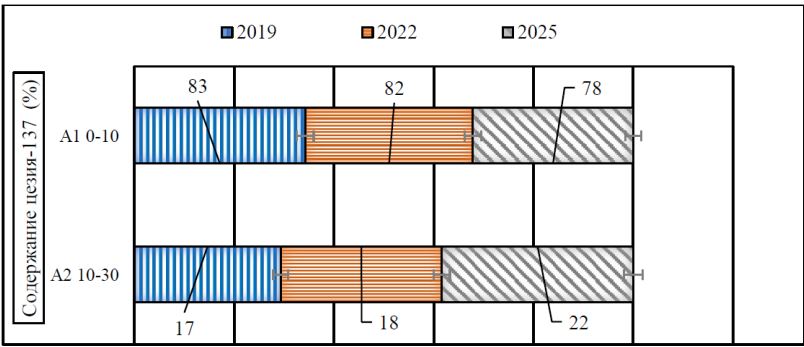


Рисунок 2 – Динамика удельной активности ^{137}Cs в почвенных горизонтах, 2019–2025 гг.

Оценка радиоактивного загрязнения растительности. В ходе проведения экспедиций для продолжения определения фитоценоотических барьеров луговой экосистемы и изучения аккумуляции на них ^{137}Cs на заранее подготовленных и зафиксированных площадках отбирали пробы растений. Растительные пробы входили в состав злаковых, бобовых, разнотравных и осоковых ассоциаций. Отобранные образцы растений разбирали и анализировали по видовому и агроботаническому составу. Пробы растений высушивали до воздушно-сухого состояния, затем дополнительно просушивали в сушильном шкафу при температуре 60 °C до постоянной массы, после чего измельчали на роторной мельнице и определяли удельную активность радиоцезия. При радиометрировании растительных образцов использовали сосуд Маринелли объемом 0,5 л.

Для анализа активности радиоцезия в растениях определяли нужный параметр по видам, а затем усредняли полученные данные для характеристики травостоя сообществ.

Как уже ранее отмечалось, в 2019 г. продуктивность травостоя была невысокая из-за постоянного стравливания и вытаптывания, а также отсутствия затопления. Травостой существенно деградировал как по видовому составу, так и соотношению агроботанических групп растений. Осоковые (*Cyperaceae*) были представлены исключительно осокой острой (*Carex acuta* L.).

Злаки (*Poaceae*) – в увлажненных местах представителями родов канареечник (*Phalaroides*), полевица (*Agrostis*), а также мятликами (*Poa*) и овсяницей (*Festuca*). Разнотравье представлено было тысячелистником (*Achillea*), чистецом болотным (*Stachys palustris* L.), разными видами подмаренника (*Galium*). Бобовые культуры (*Fabaceae*) – это горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и чина (*Lathyrus*). Удельная активность радиоцезия составила по группам соответственно 254, 168, 589 и 870 Бк/кг.

В 2022 г. количество видов, проанализированных по сообществам, составляло от 3 до 5. Группа осоковых видов представлена осокой острой (*Carex acuta* L.). Удельная активность радионуклида для нее составляла от 188 до 1020 Бк/кг при среднем значении 505 ± 354 Бк/кг.

Группа злаковых (*Poaceae*) состояла из канареечника (*Phalaroides*) и полевицы (*Agrostis*). Содержание радионуклида для сообщества было 106–820 Бк/кг при среднем значении 383 ± 383 Бк/кг.

Наиболее широко была представлена группа разнотравья. В нее вошли василистник (*Thalictrum*), тысячелистник (*Achillea*), чистец болотный (*Stachys palustris* L.), подмаренник (*Galium*), щавель пирамидальный (*Rumex thyrsiflorus* L.). Параметры накопления элемента были 95–2195 Бк/кг при среднем значении 802 ± 326 Бк/кг.

Из бобовых (*Fabaceae*) культур был проанализирован горошек мышиный (*Vicia cracca* L.). Содержание радионуклида составляло 1850 ± 377 Бк/кг.

В условиях 2025 г. средняя удельная активность радионуклида составляла для осоковых (*Cyperaceae*) – 267 ± 90 при варьировании от 110 до 422 Бк/кг. Для злаковых (*Poaceae*) – соответственно 411 ± 483 Бк/кг при варьировании от 80 до 1670 Бк/кг. Эти параметры для разнотравья – 879 ± 312 . Для бобовых (*Fabaceae*) среднее значение – 1152 ± 325 Бк/кг.

Способность разных видов растений аккумулировать радиоцезий наиболее корректно оценивать по значениям коэффициента перехода или пропорциональности (КП). КП отражает отношение содержания радионуклида в единице массы растений (Бк/кг) к плотности радиоактивного загрязнения почвы (кБк/м²).

На основании результатов анализа удельной активности радиоцезия в растениях и почве была сформирована графическая модель (рисунок 3), отражающая широкую вариабельность изучаемых параметров. Выявлены значительные различия в аккумуляции радионуклида по растениям агроботанических групп. По накоплению изотопа цезия в убывающем ряду группы сообществ можно расположить следующим образом: бобовые > разнотравье > осоки > злаки.

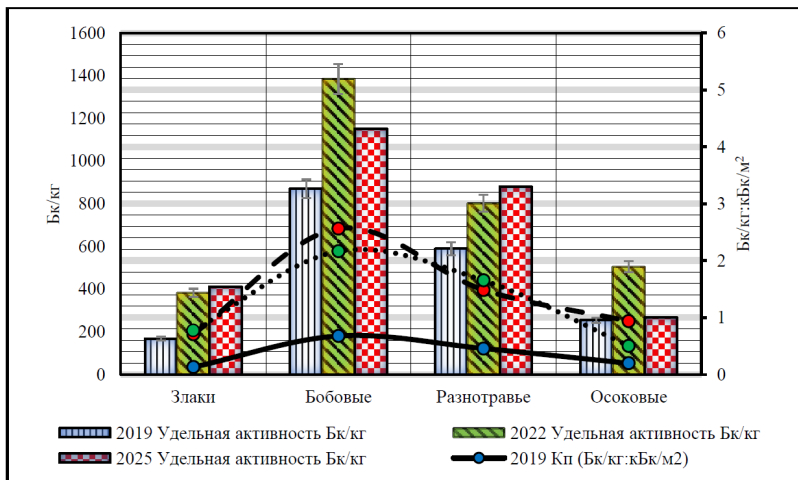


Рисунок 3 – Динамика накопления ¹³⁷Cs в растительных ассоциациях луговой экосистемы во временном промежутке 2019–2025 гг.

Коэффициенты пропорциональности варьировали в пределах от 0,1 до 2,2 Бк/кг:кБк/м².

Для бобовых КП составил от 0,7 в 2019 г. до 2,2 Бк/кг:кБк/м² в 2025 г.

КП для разнотравья варьировал от 0,5 в 2019 г. до 1,7 Бк/кг:кБк/м² в 2025 г.

Для осоковых КП составил от 0,2 в 2019 г. до 0,5 Бк/кг:кБк/м² в 2025 г.

Для группы злаковых – от 0,1 в 2019 г. до 0,8 Бк/кг:кБк/м² в 2025 г.

Убывающий ряд по значениями КП: бобовые (0,7–2,2) > разнотравье (0,5–1,7) > осоковые (0,2–0,5) > злаковые (0,1–0,8).

Можно отметить наименьшие значения КП для условий 2019 г. С течением времени произошло увеличение КП. Причинами возникшей ситуации являются изменение режима затопления. В период с 2015 по 2021 г. затопления не наблюдалось. Возобновление затопления луга вполне могло оказать влияние вторичное перераспределение радионуклида.

Как уже отмечалось, одной из задач исследований было определение фитоценоотических барьеров на территории изучаемой природной экосистемы. В настоящем исследовании под фитоценоотическими барьерами понимаются группы растительных сообществ, представленные комплексами растительных видов, характерных для определенных природных условий, которые способствуют ограничению или замедлению миграции радионуклидов в окружающей среде или их накоплению в определенных частях экосистемы.

Параметры фитоценоотических барьеров могут включать характеристики барьера и поведение мигрирующих элементов. Одним из основных параметров определения фитоценоотических барьеров является коэффициент биологического поглощения (A_x). Это отношение содержания радионуклида в золе растений к содержанию радионуклида в почве. Существенное изменение A_x может обозначать наличие фитоценоотического барьера, так при $A_x > 1$ растения являются аккумуляторами химических веществ, при $A_x \approx 1$ – нейтральными, а при $A_x < 1$ – эксклюдерами [14, с. 28, 29]. Так как миграция элементов в системе «почва – растение» может характеризоваться не только барьерами поглощения, но и барьерами рассеивания, в контексте сельскохозяйственной радиологии при определении фитоценоотических барьеров будет целесообразнее использовать коэффициент перехода или пропорциональности (КП), так как КП, помимо количественной оценки взаимодействия радионуклидов в растительных элементах с почвенными объектами, учитывает плотность загрязнения исследуемого участка.

Между тем одной из характеристик фитоценоотического барьера является интенсивность процесса, или степень снижения или увеличения поглощения или рассеивания элементов.

По нашему мнению, возможными объектами фитоценоотических барьеров могут быть участки луговой экосистемы, занятые злаковыми, бобовыми, осоковыми и разнотравными сообществами. Все они находятся на почвах с разными агрохимическими и агрофизическими свойствами. Кроме того, территории различаются и водным режимом. Эти растения различаются продуктивностью, химическим составом, а также степенью накопления радионуклида.

Вынос радионуклида с единицы площади размещения сообществ может означать территорию фитоценоотического барьера.

Кроме того, необходимо отметить следующие обстоятельства. Наиболее резкие границы фитоценоотических барьеров характерны для осоковых. Это связано с режимом увлажнения. Для злаковых культур эти границы также связаны с влажностью почвы. Одни из них – гигрофиты, другие – мезофиты, третьи – ксерофиты. Наиболее распространены разнотравные сообщества. Они не имеют визуально различимых границ распространения.

По нашим данным, наиболее значительное количество радиоактивного цезия накапливают бобовые и разнотравье (КП > 1). Здесь могут возникнуть проблемы в зависимости от способа использования травостоя.

Ситуация 1. Травостой отчуждается, радионуклид в почве фиксируется. Увеличения доступного радионуклида в верхних горизонтах и дернине не происходит.

Ситуация 2. Травостой не отчуждается. Радионуклид в почве фиксируется. При этом происходит накопление радиоцезия в дернине. Отсюда следует, что на фитоценоотических барьерах может увеличиваться количество элемента в дернине.

Все эти обстоятельства будут отражаться на границах фитоценоотических барьеров.

Необходимо отметить участие половодья в процессах перераспределения радионуклида на фитоценоотических барьерах. Повышение удельной активности в некоторых группах изучаемых растительных ассоциаций коррелирует не только со способом использования травостоя на барьерах, но и с затоплением поймы. Наблюдается рост динамики удельной активности радиоцезия на фитоценоотических барьерах с 2019 по 2025 г. Установлено, что радионуклиды изучаемого изотопа цезия содержатся в донных осадениях водоема и во время весенних паводков перераспределяются на территории пойменной экосистемы.

Для уточнения параметров фитоценотических барьеров на выделенных территориях необходимо продолжение проведения детальных исследований, включающих в себя определение:

1) объема биомассы (чем больше плотность биомассы, тем выше потенциальная способность барьера задерживать радиоактивные вещества);

2) плотности насаждения видов (способность растений задерживать поллютанты также зависит от численности видов барьера на изучаемом участке);

3) морфологических особенностей наземной и корневой систем растений (как известно из некоторых исследований [15, с. 3–8], представители семейства бобовые, в отличие от злаковых, активно аккумулируют радиоцезий в наземных органах, а также отличаются развитой корневой системой, позволяющей поглощать минеральные вещества из более глубоких слоев почвы);

4) агрохимических особенностей подстилающей почвы (рН почвы, содержание макро- и микроэлементов, содержание гумуса; все эти параметры могут как способствовать, так и препятствовать миграции радионуклидов).

Заключение. Основное количество радионуклида по-прежнему остается в верхнем гумусово-аккумулятивном (A1) почвенном горизонте – до 30 см.

С 2019 по 2025 гг. продолжается перераспределение ^{137}Cs по почвенным горизонтам.

Плотность загрязнения радионуклидом за время проведения исследований варьировалась от 1288 кБк/м² в 2019 г. до 532 в 2025 г.

Проведенные исследования позволили сформировать убывающий ряд по значениям КП: бобовые (0,7–2,2) > разнотравье (0,5–1,7) > осоковые (0,2–0,5) > злаковые (0,1–0,8).

На основании полученных КП установлены фитоценотические барьеры луговой экосистемы, представленные изучаемыми сообществами.

Наблюдается рост динамики удельной активности радиоцезия на фитоценотических барьерах с 2019 по 2025 г.

Повышение удельной активности радиоцезия в некоторых группах изучаемых растительных ассоциаций коррелирует с затоплением поймы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлоцкая, Ф. И. Формы нахождения и миграции искусственных радионуклидов в природной среде / Ф. И. Павлоцкая // I Всесоюзный радиобиологический съезд : тез. докл., Москва, 21–27 авг. 1989 г. : в 5 т. / Акад. наук СССР, Науч. центр биол. исслед. ; редкол.: А. И. Газиев (отв. ред.) [и др.]. – Пушкино, 1989. – Т. 2. – С. 493–494.
2. Влияние эрозионно-аккумулятивных процессов на перераспределение ^{137}Cs на склоновых землях / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, А. М. Устинова [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2021. – № 3. – С. 90–97.
3. Рекомендации по использованию загрязненных радионуклидами пойменных земель Белорусского Полесья / А. Г. Подоляк, С. Ф. Тимофеев, Н. В. Гребенщикова, В. Ю. Агеец // Рекомендации по внедрению законченных научно-исследовательских разработок Гомельских ученых-аграрников в сельскохозяйственное производство / сост.: Н. В. Гандылева [и др.]. – Гомель : Полеспечат, 2001. – С. 50–54.
4. Рекомендации по улучшению суходольных и низинных лугов, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси ; под ред. И. М. Богдевича. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2004. – 69 с.
5. О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы : Указ Президента Респ. Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 20.10.2025).
6. О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы : Указ Президента Респ. Беларусь от 1 апр. 2025 г. № 135 // Pravo.by : Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32500135> (дата обращения: 10.10.2025).
7. О перечне населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 08 февр. 2021 г. № 75 // Pravo.by : Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100075> (дата обращения: 10.11.2025).
8. Дайнеко, Н. М. Динамика радиоактивного загрязнения луговых растений в пойме р. Сож / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Мелиорация. – 2023. – № 1 (103). – С. 53–59.

9. Ветеринарная радиобиология : краткий курс лекций для студ. 4 курса по специальности 36.05.01 – «Ветеринария» / Саратов. ГАУ им. Н. И. Вавилова ; сост. Т. Н. Родионова. – Саратов : Саратов. ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2016. – 83 с.

10. Аверин, В. С. Обоснование направлений хозяйственной деятельности на территории радиоактивного загрязнения как способ снижения дозовых нагрузок населения, формируемых за счет потребления сельскохозяйственной продукции / В. С. Аверин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 42-2. – С. 34–39.

11. Богачев, А. В. Миграция ^{137}Cs и калия в системе «Почва–растение». Факты, закономерности, гипотезы : учеб. пособие / А. В. Богачев. – М. : Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 1997. – 35 с.

12. Определитель высших растений Беларуси / Т. А. Сауткина, Д. И. Третьяков, Г. И. Зубкевич, В. И. Парфенова ; БГУ ; под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 471 с.

13. Спирина, В. З. Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений : учеб. пособие / В. З. Спирина, Т. П. Соловьёва. – Томск : Изд. дом Томского гос. ун-та, 2014. – 336 с.

14. Васильков, П. Ф. Влияние коэффициента биологического поглощения на рост и развитие микотоксинов / П. Ф. Васильков, Л. В. Мосина // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2025. – № 2. – С. 26–31.

15. Uchida, S. Comparison of radiocesium concentration changes in leguminous and non-leguminous herbaceous plants observed after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident / S. Uchida, K. Tagami // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 186. – P. 3–8.

Поступила в редакцию 03.12.2025.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 5. Economics. Sociology. Biology”

Vol. 16, No. 1, 2026, pp. 170–178

© Yanka Kupala State University of Grodno, 2025

Migration parameters of ^{137}Cs in the soil-plant system in the floodplain meadow of the Sozh River

S. Tsimafeyeu ¹, M. Karpenka ²

¹ Francisk Skorina Gomel State University (Belarus)

Sovetskaya St., 104, 246028, Homel, Belarus; e-mail: sertimo@mail.ru

² Francisk Skorina Gomel State University (Belarus)

Sovetskaya St., 104, 246028, Homel, Belarus; e-mail: karpenkonikolaj23@gmail.com

Abstract. In the introduction, the specified object of study is the ecosystem of the floodplain meadow of the Sozh River. The aim of the work is to assess the radioecological load of the Sozh River biogeocenosis against the background of changing climatic conditions and periods of flooding. The location of the study is described – the village of Sharstsin, Vietkauski District, Homel Region. The main part of the provided results of the studies, during which it was established that the amount of radionuclide still remains in the upper humus-accumulative (A1) soil horizon, up to 30 cm. From 2019 to 2025, the redistribution of ^{137}Cs among soil horizons continues. The density of radionuclide contamination during the study period was 1288 kBq/m² in 2019 to 532 in 2025. According to the accumulation of the cesium isotope in a descending series, community groups can be limited as follows: legumes > forbs > sedges > cereals. Legumes and forbs accumulate radiocesium most actively (KP > 1). Based on the data obtained at the KP, phytocenotic barriers of the meadow ecosystem, represented by the studied communities, were identified. An increase in the dynamics of radiocesium specific activity at phytocenotic barriers was observed from 2019 to 2025. The increase in radiocesium specific activity in some groups of the studied plant associations correlates with floodplain inundation. The corresponding conclusions were drawn in the conclusions of the targeted studies. The obtained data contribute to the study of ^{137}Cs depletion in CIS countries in mobile ecosystems under variable hydrological conditions and can be used by livestock specialists to improve the quality of harvested feed.

Keywords: floodplain, migration, radiocesium, agrobotanical groups, phytocenotic barriers, radioecological situation.

References

1. Pavlotskaya F. I. Forms of presence and migration of artificial radionuclides in the natural environment [Formy nakhozhdeniia i migratsii iskusstvennykh radionuklidov v prirodnoi srede]. 1st All-Union radiobiological congress : abstracts of reports, Moscow, Aug. 21-27, 1989 : in 5 vols. ; ed. board: A. I. Gaziev (ch. Ed.) [et al.]. Pushchino, 1989, vol. 2, pp. 493-494.

2. Tsybulka M. M., Tsyribka V. B., Ustinava A. M. [et al.]. Influence of erosion-accumulative processes on ^{137}Cs redistribution on slope lands [Vliianie erozionno-akkumulativnykh protsessov na pereraspredelenie ^{137}Cs na sklonovykh zemliakh]. Journal of the Belarusian State University. Ecology, 2021, No. 3, pp. 90-97.

3. Podolyak A. G., Timofeev S. F., Grebenshchikova N. V., Ageets V. Yu. Recommendations for the use of floodplain lands of the Belarusian Polesie contaminated with radionuclides [*Rekomendatsii po ispol'zovaniiu zagriaznennykh radionuklidami poimennykh zemel' Belorusskogo Poles'ia*]. Recommendations for the implementation of completed research and development projects of Homel agricultural scientists in agricultural production [*Rekomendatsii po vnedreniiu zakonchennykh nauchno-issledovatel'skikh razrabotok Gomel'skikh uchenykh-agrarnikov v sel'skokhoziaistvennoe proizvodstvo*] ; comp. by N. V. Gandyleva [et al.]. Homel, 2001, pp. 50-54.
4. Recommendations for the improvement of upland and lowland meadows exposed to radioactive contamination [*Rekomendatsii po uluchsheniui sukhodol'nykh i nizinykh lugov, podverghshikhsia radioaktivnomu zagriazneniiu*] ; ed. by I. M. Bogdevich. Minsk, 2004, 69 p.
5. On priority areas of scientific, scientific-technical and innovative activities for 2021-2025 [*O prioritnykh napravleniakh nauchnoi, nauchno-tekhnikeskoi i innovatsionnoi deiatel'nosti na 2021-2025 gody*] : Decree of the President of the Republic of Belarus of May 7, 2020 No. 156. ETALON: information retrieval system [Electronic resource].
6. On priority areas of scientific, scientific-technical and innovative activities for 2026-2030 [*O prioritnykh napravleniakh nauchnoi, nauchno-tekhnikeskoi i innovatsionnoi deiatel'nosti na 2026-2030 gody*] : Decree of the President of the Republic of Belarus of Apr. 1, 2025 No. 135. Pravo.by : National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus [Electronic resource].
7. On the list of settlements and objects located in radioactive contamination zones [*O perechne naselennykh punktov i ob'ektov, nakhodiaschikhsia v zonakh radioaktivnogo zagriazneniia*] : resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of Feb. 8, 2021, No. 75. Pravo.by : National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus [Electronic resource].
8. Dajneko N. M., Timofeev S. F. Dynamics of radioactive contamination of meadow plants in the floodplain of the Sozh river [*Dinamika radioaktivnogo zagriazneniia lugovykh rastenii v poime r. Sozh*]. *Melioratsiia*, 2023, No. 1 (103), pp. 53-59.
9. Veterinary radiobiology [*Veterinarnaia radiobiologiya*] : a brief course of lectures for 4th year student in specialty 36.05.01 - "Veterinary Medicine" ; comp. by T. N. Rodionova. Saratov, 2016, 83 p.
10. Averin V. S. Substantiation of areas of economic activity in the territory of radioactive contamination as a way to reduce the population dose rates generated by the consumption of agricultural products [*Obosnovanie napravlenii khoziaistvennoi deiatel'nosti na territorii radioaktivnogo zagriazneniia kak sposob snizheniia dozovykh nagruzok naseleniia, formiruemykh za schet potrebleniia sel'skokhoziaistvennoi produktsii*]. *International Journal of Agricultural Science and Education*, 2018, No. 42-2, pp. 34-39.
11. Bogachev A. V. Migration of ^{137}Cs and potassium in the "Soil-Plant" system. Facts, patterns, hypotheses [*Migratsiia ^{137}Cs i kaliia v sisteme "Pochva-rastenie". Fakty, zakonomernosti, gipotezy*] : study guide. Moscow, 1997, 35 p.
12. Sautkina T. A., Tretyakov D. I., Zubkevich G. I., Parfenova V. I. Identifier of Higher Plants of Belarus [*Opredelitel' vysshikh rastenii Belarusi*] ; ed. by V. I. Parfenov. Minsk, 1999, 471 p.
13. Spirina V. Z., Solovyova T. P. Agrochemical methods for studying soils, plants, and fertilizers [*Agrokhimicheskie metody issledovaniia pochv, rastenii i udobrenii*] : study guide. Tomsk, 2014, 336 p.
14. Vasilkov P. F., Mosina L. V. Influence of biological absorption coefficient on growth and development of mycotoxins [*Vliianie koeffitsienta biologicheskogo pogloshcheniia na rost i razvitie mikotoksinov*]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi sel'skokhoziaistvennyi zhurnal*, 2025, No. 2, pp. 26-31.
15. Uchida S., Tagami K. Comparison of radiocesium concentration changes in leguminous and non-leguminous herbaceous plants observed after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, vol. 186, pp. 3-8.

