

Арина Сергеевна Федотова, Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
krasfas@mail.ru

МИГРАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ^{137}Cs В ЗВЕНЕ «ПОЧВА – КОРМА» В АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Цель исследования – в центральных районах Красноярского края в аграрных ландшафтах с дополнительной радиационной нагрузкой оценить интенсивность миграции ^{137}Cs в звене «почва – растение»; установить коэффициент накопления ^{137}Cs для почв аграрных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края; оценить корреляционную зависимость между содержанием ^{137}Cs в почвах и кормах, описать выявленную зависимость уравнениями линейной регрессии. Приводится обширный литературный обзор по особенностям миграционной активности ^{137}Cs из различных типов почв в растения в агробиоценозах, загрязненных в результате радиационных аварий. Автором на основании радиоэкологического обследования территории центральных районов края были выделены аграрные ландшафты с антропогенным загрязнением. Приведены данные по удельной активности ^{137}Cs в почвах и кормах, производимых в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой. Мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы (МАЭД) в тестируемых аграрных ландшафтах соответствует значению, характерному для территории Красноярского края. Значение удельной активности ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов с дозами 1,33 и 1,55 МГр/год превышает средний показатель по Красноярскому краю. Удельная активность ^{137}Cs в кормах аграрных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 МГр/год не превышает значений контрольных уровней, соответственно на территории Красноярского края производятся безопасные в радиационном отношении корма. Коэффициент накопления ^{137}Cs для звена «почва – растение» для аграрных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 МГр/год составляет 0,02, что свидетельствует о доступности лишь 2 % почвенного ^{137}Cs при его миграции в растения. В тестируемых аграрных ландшафтах определена линейная корреляционная зависимость между удельной активностью ^{137}Cs в почвах и кормах. Выявлена линейная зависимость содержания ^{137}Cs в сене разнотравном от концентрации ^{137}Cs в почвах, на этом основании выведены уравнения линейной регрессии, дающие возможность определить радиационную безопасность кормов по ^{137}Cs при определенной концентрации ^{137}Cs в почвах.

Ключевые слова: ^{137}Cs , почвы, агробиоценозы, удельная активность почв, удельная активность кормов, коэффициенты накопления, уравнение линейной регрессии

Для цитирования: Федотова А.С. Миграционная активность ^{137}Cs в звене «почва – корма» в аграрных ландшафтах центральных районов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 153–163. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-9-153-163.

Arina Sergeevna Fedotova, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
krasfas@mail.ru

**¹³⁷Cs MIGRATION ACTIVITY IN THE LINK “SOIL – PLANT”
IN THE KRASNOYARSK REGION CENTRAL AREAS AGRARIAN LANDSCAPE**

The purpose of the study is to assess the intensity of ¹³⁷Cs migration in the “soil-plant” link in the central areas of the Krasnoyarsk Region in agricultural landscapes with additional radiation load; to establish the accumulation coefficient of ¹³⁷Cs for soils of agricultural landscapes of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Region; to assess the correlation between the content of ¹³⁷Cs in soils and feeds, describe the identified dependence using linear regression equations. An extensive literature review is provided on the characteristics of the migration activity of ¹³⁷Cs from various types of soils into plants in agrobiocenoses contaminated as a result of radiation accidents. The author, based on a radioecological survey of the territory of the central areas of the region, identified agricultural landscapes with anthropogenic pollution. Data on the specific activity of ¹³⁷Cs in soils and feed produced in agricultural landscapes with additional technogenic load are presented. The ambient dose equivalent rate (ADR) in the tested agricultural landscapes corresponds to the value characteristic of the territory of the Krasnoyarsk Region. The specific activity of ¹³⁷Cs in soils of agricultural landscapes with doses of 1.33 and 1.55 mGy/year exceeds the average for the Krasnoyarsk Region. The specific activity of ¹³⁷Cs in feed of agricultural landscapes with absorbed doses of 1.33 and 1.55 mGy/year does not exceed the values of control levels; accordingly, radiation-safe feed is produced in the Krasnoyarsk Region. The accumulation coefficient of ¹³⁷Cs for the “soil-plant” link for agricultural landscapes with absorbed doses of 1.33 and 1.55 mGy/year is 0.02, which indicates the availability of only 2 % of soil ¹³⁷Cs during its migration into plants. In the tested agricultural landscapes, a linear correlation was determined between the specific activity of ¹³⁷Cs in soils and feeds. A linear dependence of the ¹³⁷Cs content in forb hay on the ¹³⁷Cs concentration in soils was revealed; on this basis, linear regression equations were derived that make it possible to determine the radiation safety of feed based on ¹³⁷Cs at a certain ¹³⁷Cs concentration in soils.

Keywords: ¹³⁷Cs, soils, agrobiocenoses, soil specific activity, feed specific activity, accumulation coefficients, linear regression equation

For citation: Fedotova A.S. ¹³⁷Cs migration activity in the link “soil-plant” in the Krasnoyarsk Region central areas agrarian landscape // Bulliten KrasSAU. 2023;(9): 153–163. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-9-153-163.

Введение. Увеличение радиационного фона аграрных ландшафтов является значимой радиобиологической проблемой. Космическое излучение и излучение природных и техногенных радионуклидов, присутствующих в объектах биосферы, относятся к одним из факторов, имеющих отрицательное влияние на биологические объекты. Оценка удельной активности техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды проводится органами государственной власти, определение интенсивности миграционной активности антропогенных изотопов является объектом научных интересов. В настоящее время достаточно изучены радиоэкологические условия на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий, локальных испытаний ядерного оружия: Н.В. Андреева (2018), С.П. Арышева (2018), Н.Н. Базарбаев (2022), А.И. Богинская (2018), С.М. Киселев (2017), А.Н. Переволоцкий (2020), В.В. Кречет-

ников (2018), А.В. Титов (2019), С.В. Фесенко (2022), О.Б. Цветнова (2021) [1–10].

Определение уровней загрязнения и миграции радионуклидов в аграрных ландшафтах, находящихся в непосредственной близости к предприятиям ядерно-топливного цикла, является основным направлением сельскохозяйственной радиоэкологии. На территории с дополнительным радиоактивным загрязнением биота испытывает радиационное воздействие в малых дозах. Существуют работы по оценке степени их влияния на состояние биологических объектов. Изучение степени влияния техногенной нагрузки на компоненты биосферы выполнено учеными радиоэкологами: В.С. Авериным (2015), А.В. Гулаковым (2021), И.А. Звоновой (2020), А.Н. Переволоцким (2020), А.В. Рапов (2019), Р. Ostoich (2022) [11–15].

На территории Российской Федерации существуют регионы с дополнительным антропогенным загрязнением, Красноярский край относит-

ся к таким территориям. На большей части Красноярского края радиационная обстановка оценивается как благополучная, однако в центральных районах края существует точечное загрязнение поймы р. Енисей антропогенными радионуклидами, образованное за счет деятельности ФГУП «Горно-химический комбинат» [16]. ФГУП «Горно-химический комбинат» является предприятием первой категории потенциальной радиационной опасности. Радиоэкологами: Т.А. Зотиной (2022), А.М. Мартыновой (1997), В.Н. Ракитским (2018) на территории локальных загрязнений определена удельная активность техногенных радионуклидов, их миграционная способность, но большинство научных работ посвящено антропогенному загрязнению водной биоты р. Енисей [17–19]. Работ по оценке миграционной активности техногенных радионуклидов в условиях аграрных ландшафтов ограниченное количество.

Миграция ^{137}Cs из почвы в вегетативную часть растения зависит от химического состава почвы, ее физико-механических характеристик. Успешность миграции радионуклидов описывается коэффициентом накопления (K_n) или коэффициентом пропорциональности (K_p).

Работы по определению коэффициента пропорциональности ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур на разных типах почв на территории Украины, выполненные Н.А. Кимаковской и Г.П. Перепелятниковым, показали, что содержание ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах с торфяно-глеевых почв в 3,5–40 раз больше, чем у культур с черноземов оподзоленных, и в 1,4–13 раз больше, чем у культур с дерново-подзолистых почв. K_n ^{137}Cs для разнотравно-злакового сена зависит от типа почвы: для чернозема оподзоленного – 0,12; дерново-подзолистой песчаной – 0,66; глееватой и дерново-песчаной – 1,8. K_n ^{137}Cs для разнотравно-осокового растительного покрова, выращенного на торфяно-глеевой почве, – 12,2–90,9, он увеличивается с усилением концентрации воды [20].

Н.В. Ларионова в работе по оценке K_n радионуклидов в почвах Семипалатинского полигона установила обратную зависимость между удалением от источника и K_n растениями, низкие K_n ^{137}Cs зарегистрированы в эпицентре, высокие – на удалении более 100 км [21].

В работах Ю.Н. Ашинова и Ф.Ю. Схашок проведено сравнение коэффициентов поглощения ^{137}Cs озимой пшеницей, выращиваемой на

разных типах пахотных почв Республики Адыгея, K_n ^{137}Cs в зерне и соломе озимой пшеницы имеет однозначные значения при выращивании на черноземах выщелоченных и лугово-черноземных почвах [22].

А.М. Окуневым отражена особенность накопления ^{137}Cs в кормовых культурах на разных типах почв Тюменской области. Главным источником техногенного загрязнения почв Тюменской области является радиоактивный след Кыштымской аварии. В результате установлено, что активность ^{137}Cs в черноземе и торфяных почвах принадлежит к одному диапазону совокупности. Отмечено, что коэффициент накопления ^{137}Cs кормовыми растениями (трава злаково-разнотравная, зеленая масса овса и гороха, зерно овса, зеленая масса кукурузы, свекла) выше на торфяной почве [23].

Работа Н.В. Ларионовой и ее соавторов показала, что на почвах пастбищных участков, территориально принадлежащих бывшему Семипалатинскому полигону, растения, произрастающие на одинаковых почвах (суглинок), обладают разным K_n для ^{137}Cs . Согласно данным, K_n ^{137}Cs для полыни в два, три раза выше, чем для типчака и ковыля [21].

Для почв Белгородской области С.В. Лукиным и Р.М. Хижняком рассчитаны коэффициенты накопления ^{137}Cs , которые составили для озимой пшеницы и ячменя 0,02–1,1. Установлено, что миграция изотопов в растения в черноземных почвах меньше, чем в дерново-подзолистых [24].

Исследования по оценке перехода радионуклидов из почвы в вегетативную часть растений в условиях республики Беларусь, на территории Могилевской области, были проведены А.В. Шур и В.П. Валько. Установлено, что K_n в одном виде растений прямо пропорционален плотности загрязнения, наименьшим K_n ^{137}Cs обладает лапчатка серебристая – 0,12, максимальный K_n у вереска обыкновенного – 5,3. Для травостоя пастбищ при плотности загрязнения 74–185 кБк/м² K_n следующий: иван-чай узколистный – 3,6; овсяница красная – 4,5; клевер горный – 4,7 [25].

В период с 2008 по 2020 г. С.В. Фесенко с соавторами на территории, пострадавшей в результате ЧАЭС, провели оценку коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в корма и установили, что экологические периоды полуснижения K_n в этот период составили 7,8–28,9 лет [26].

А.Д. Булоховым приведены K_n ^{137}Cs растениями луговых агробиоценозов, расположенных на техногенно-загрязненной территории Российской Федерации, республик Белоруссии и Украины. Автором рассчитан K_n ^{137}Cs для луговых растений, выявлен тренд к снижению K_n растениями при увеличении концентрации ^{137}Cs в почве, автор предполагает, что в результате насыщения растений антропогенными радионуклидами активность их миграции уменьшается, поэтому K_n на сильнозагрязненных почвах меньше, чем на слабозагрязненных [26].

В результате обобщения данных по миграции ^{137}Cs в вегетативную часть растения можно сделать вывод, что миграция ^{137}Cs зависит от типа почвы, ее увлажненности и особенности трофики растений. На естественных лугах концентрация ^{137}Cs выше, чем на искусственных. Низкая концентрация изотопов объясняется тем, что при вспашке градиент концентрации ^{137}Cs выравнивается на глубину пахотного слоя, тогда как на естественных сенокосах ^{137}Cs удерживается слоем дерна. Наименьшее накопление ^{137}Cs отмечается в травостое на суходольных лугах с минеральными почвами. Средняя миграционная активность ^{137}Cs установлена на черноземах оподзоленных, дерново-подзолистых почвах. Наибольшая концентрация ^{137}Cs в вегетативных частях растений регистрируется на болотистых и пойменных лугах с органическими почвами и на торфяно-гелевых почвах.

Из анализа вышесказанного следует вывод – вопрос миграционной способности ^{137}Cs в агробиоценозах центральной части РФ и сопредельных государств изучен достаточно. Исследования в основном выполнялись на территориях, подверженных выпадению техногенных радионуклидов вследствие аварийных ситуаций на предприятиях атомно-промышленного комплекса. Научных работ по изучению удельной активности, оценке миграционной активности техногенных радионуклидов в почве и растительности агробиоценозов Красноярского края опубликовано недостаточно.

В связи с этим оценка особенностей миграционной способности ^{137}Cs в звене «почва – растение» агробиоценозов, определение роли начального звена миграции ^{137}Cs , в получении радиационно-безопасных коров в условиях локального антропогенного загрязнения террито-

рий Красноярского края является актуальными вопросами агроэкологии.

Цель исследований – в центральных районах Красноярского края в аграрных ландшафтах с дополнительной радиационной нагрузкой оценить интенсивность миграции ^{137}Cs в звене «почва–растение»; установить K_n ^{137}Cs для почв аграрных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края; оценить корреляционную зависимость между содержанием ^{137}Cs в почвах и кормах, описать выявленную зависимость уравнениями линейной регрессии.

Задачи: в аграрных ландшафтах с дополнительной антропогенной нагрузкой установить уровни загрязнения ^{137}Cs почв и кормов; рассчитать K_n ^{137}Cs в кормах, выполнить корреляционный анализ полученных данных; описать миграционную активность ^{137}Cs в звене «почва – растение» уравнениями линейной регрессии.

Объекты и методы. Исследование проведено согласно регламентирующим документам [27] в период 2016–2018 гг. в условиях аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края, имеющих дополнительную антропогенную нагрузку и, как следствие, высокие значения поглощенных доз для сельскохозяйственных животных. Расчет годовых поглощенных доз был проведен автором в 2021 г. [28]. Работа проведена в аграрном ландшафте с. Момотово, где дозовая нагрузка на животных составляла 1,33 мГр/год и аграрном ландшафте с. Большой Балчуг, где поглощенная доза для животных – 1,55 мГр/год. Эти аграрные ландшафты территориально принадлежат зоне наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК»). Аграрный ландшафт с. Момотово расположен на расстоянии 183 км на север от г. Красноярска на правом берегу реки Енисей. Аграрный ландшафт с. Б. Балчуг расположен на расстоянии 40 км от г. Красноярска в северо-восточном направлении. В агробиоценозах, расположенных на берегу р. Енисей, ранее автором были выявлены участки с дополнительной техногенной нагрузкой, которая сформировалась в результате деятельности ФГУП «ГХК» [29].

На территории агробиоценозов были проведены работы по измерению γ -фона, для этого использовались поисковый радиометр СРП-68-01, многофункциональный широкодиапазонный профессиональный дозиметр ДРГ-01Т1. На территории агробиоценозов был произведен отбор проб почвы с последующим определе-

нием удельной активности техногенных радионуклидов методом гамма-спектрометрии в геометрии сосуда Маринели в течение 3 600 с на гамма-спектрометрах «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С».

Удельная активность ^{137}Cs в кормах определялась по методикам ФГУП ВНИИМ с предварительным озолением на гамма-спектрометре «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметр-радиометре МКС-АТ130, в геометрии сосуда Маринелли 250 мл, время измерения 7 200 с. Исследования выполнены на базе лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» и лаборатории радиационного контроля «ШАНЕКО Сибирь» – филиал АО «ГК ШАНЕКО».

Результаты и их обсуждение. Результаты радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой представлены в таблице. Мощность AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) в тестируемых аграрных ландшафтах принадлежит диапазону типичных данных для территории Красноярского края. Значения удельной активности ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов с дозами 1,33 и 1,55 мГр/год превышает средний показатель по Красноярскому краю – 1,2–38,1 Бк/кг [20]. На основании региональных нормативов «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края» принадлежит уровню «регистрации» [26].

Результаты радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов

Показатель	Поглощенная доза, мГр/год	
	1,33	1,55
МАЭД, нЗв/ч	18,9±0,4	17,1±0,4
Удельная активность ^{137}Cs в почвах, Бк/кг	284,2±36,3	120,8±18,7
Удельная активность ^{137}Cs в кормах, Бк/кг	6,8±2,3	2,9±0,8

Концентрация ^{137}Cs в кормах, выращиваемых на территории РФ, не однозначная, однако не превышает установленный контрольный уровень (за исключением Брянской области). По данным А.Д. Булохова (2014), на территории Брянской области имеются агробиоценозы, в которых удельная активность ^{137}Cs сена превышает контрольные уровни (600 Бк/кг). Удельная активность ^{137}Cs на территории Северо-Западного Алтая в зеленой массе лугов составляла 4–2 Бк/кг [30], в республике Татарстан в соломе – 0,66 Бк/кг, свекле кормовой – 0,25 Бк/кг [31]. Концентрация ^{137}Cs в кормах аграрных ландшафтов Красноярского края с поглощенными дозами 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год превосходила средние значения по аграрным ландшафтам РФ, однако не превышала значений контрольных уровней. На основании полученных результатов можно заключить, что в аграрных ландшафтах Красноярского края производятся радиационно-безопасные корма.

В настоящее время миграция ^{137}Cs в звене «почва – корма» в опытных аграрных ландшафтах находится в равновесном состоянии.

Построение модели миграции ^{137}Cs в аграрных ландшафтах с установленной антропогенной нагрузкой позволит прогнозировать содер-

жание ^{137}Cs в продукции растениеводства с учетом значения антропогенного радиоактивного загрязнения территории, ее вариации в случае изменения радиоэкологической обстановки. Модель миграции может применяться для выбора сенокосных и пастбищных агробиоценозов, использование которых позволит производить радиационно-безопасную продукцию растениеводства.

Для определения миграционной способности ^{137}Cs использовался коэффициент накопления и статистические методы, применяемые для оценки степени корреляционной зависимости, построения линейных регрессионных моделей. Коэффициент накопления – концентрационное отношение, рассчитанное по средним значениям удельной активности ^{137}Cs в почве и кормах:

$$K_n = \frac{[R]_P}{[R]_B},$$

где $[R]_P$ – концентрация радионуклида в растении, Бк/кг сух. массы; $[R]_B$ – концентрация радионуклида в почве, Бк/кг сух. массы.

Коэффициенты корреляции (r) между содержанием ^{137}Cs в звене «почва – растение», вели-

чина достоверности аппроксимации (R), уравнения регрессии определялись с помощью методов статистической обработки результатов на основе математического пакета программы MS Excel.

Для тестируемых аграрных ландшафтов K_n ^{137}Cs определялся на стойловый период, расчет произведен на основании данных, полученных при радиоэкологическом обследовании (см. табл.). Установлено что K_n для звена «почва – растение» для аграрных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 мГр/год имеет одинаковое цифровое выражение и составляет 0,02. Соответственно можно резюмировать, что агрохимическая характеристика почв, видовой состав растений сенокосно-пастбищных агробиоценозов, природно-климатические условия в аграрных ландшафтах создают условия к доступности только 2 % почвенного ^{137}Cs при его миграции в растения.

Значения K_n на разных территориях оценены многими исследователями. С.В. Лукиным и Р.М. Хижняком (2012) установлены коэффициенты накопления ^{137}Cs для почв Белгородской области – 0,02–1,1 [24], А.В. Шур и В.П. Валько установили K_n ^{137}Cs в почвах республики Беларусь – 0,12–4,7 [25]. В наших исследованиях значение K_n ^{137}Cs в звене «почва – сено разнотравное» совпадает с диапазоном, приведенным в научной литературе, но впервые K_n получил численное выражение, характерное для изучаемой территории. При изменении радиоэкологической ситуации в Красноярском

крае коэффициент накопления может быть использован для оценки перехода ^{137}Cs в продукцию растениеводства.

На основании биометрической обработки данных с использованием статистического пакета MS Excel в аграрном ландшафте с поглощенной дозой 1,33 мГр/год установлена тесная линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену между удельной активностью ^{137}Cs в почвах и сене разнотравном ($r = 0,95$). В ландшафте с дозой 1,55 мГр/год выявлена тесная линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену ($r = 0,89$) между удельной активностью ^{137}Cs в почвах и кормах. Такая зависимость является ожидаемой, так как содержание ^{137}Cs в кормах должно находиться в прямой зависимости от удельной активности ^{137}Cs в почвах, подобная зависимость была установлена многими учеными.

Вместе с определением корреляционной взаимосвязи между содержанием ^{137}Cs в звене «почва – корма» практически значимым является определение количественной связи между компонентами цепи во временной промежуток мониторинга. Для этого нами был выполнен регрессионный анализ с применением программы MS Excel.

Линейная зависимость концентрации ^{137}Cs в кормах от удельной активности изотопа в почвах сенокосных и пастбищных агробиоценозов в аграрном ландшафте с дозой 1,33 мГр/год отражена на рисунке 1.

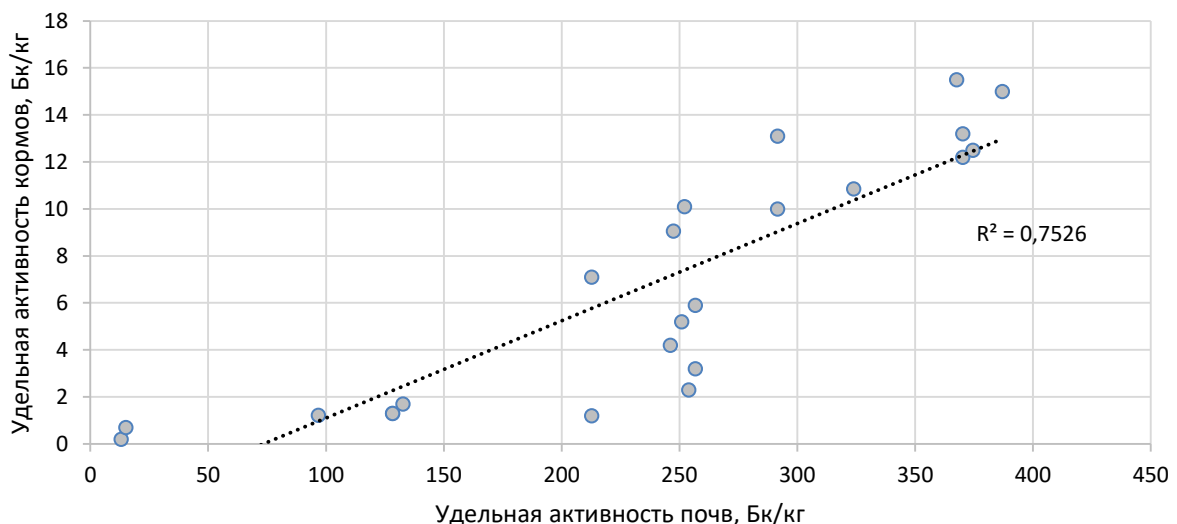


Рис. 1. Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в кормах и почвах в аграрном ландшафте с дозой 1,33 мГр/год

Линейная связь между концентрацией ^{137}Cs в кормах от удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосных и пастбищных агробиоценозов в

аграрном ландшафте с дозовой нагрузкой 1,55 мГр/год приведена на рисунке 2.

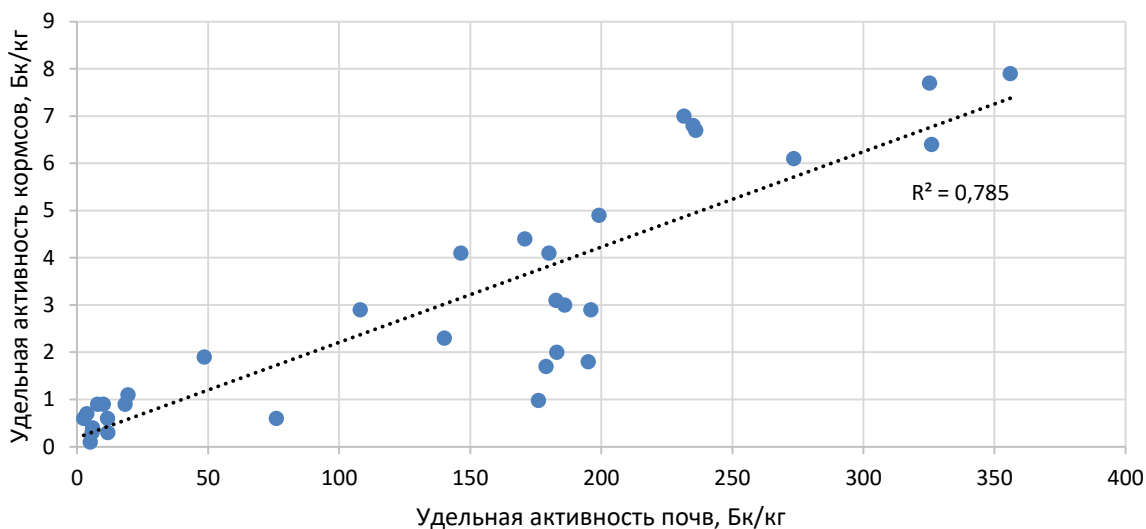


Рис. 2. Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в кормах и почвах в аграрном ландшафте с дозой 1,55 мГр/год

На основании установленной линейной зависимости нами рекомендованы уравнения линейной регрессии для определения удельной активности ^{137}Cs (y) в кормах при определенной концентрации ^{137}Cs (x) в почвах. Для аграрного ландшафта с поглощенной дозой 1,33 мГр/год уравнение имело следующий вид:

$$y = 0,0414x - 3,0385.$$

Для аграрного ландшафта с дозой 1,55 мГр/год:

$$y = 0,0202x + 0,1885.$$

Практическая значимость уравнений заключается в том, что на основании расчета можно достаточно точно определить ожидаемую удельную активность ^{137}Cs в кормах аграрных ландшафтов.

Заключение. Таким образом, использование методов статистического анализа позволило надежно выявить существование зависимости удельной активности ^{137}Cs в продукции растениеводства от уровня техногенного радиоактивного загрязнения почв сенокосных биогеоценозов и описать эти зависимости эмпирическими уравнениями линейной регрессии. Установлено, что удельная активность ^{137}Cs в почвах сено-

косных биогеоценозов аграрных ландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой может служить объективным показателем содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства. Этот вывод имеет практическую ценность, так как позволяет прогнозировать степень радиационной опасности кормов на основании многочисленных сведений об уровне техногенного радиоактивного загрязнения почв в зоне наблюдения ГХК. Становится возможным производство радиационно-чистой продукции растениеводства путем выбора земельных участков для заготовки сена с минимальным уровнем загрязнения техногенными радионуклидами.

Список источников

1. Влияние извести на биологическую подвижность ^{137}Cs в почвах различных типов / Н.В. Андреева [и др.] // Агротехнический вестник. 2018. Т. 5, № 5. С. 48–52.
2. Влияние реабилитационных мероприятий на переход ^{137}Cs в системе почва – растение – продукция животноводства на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях Калужской области / С.П. Арышева [и др.] // Дневник науки. 2018. № 5 (17). С. 5.

3. Радионуклиды в почвах, водах и приземном воздухе в отдельных горных местностях Узбекистана / *Н.Н. Базарбаев* [и др.] // Радиационная биология, радиоэкология. 2022. Т. 62, № 2. С. 206–219.
4. *Богинская А.И.* Загрязнение почвенного покрова Брянской области техногенными радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr) // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10, № 2. С. 28–36.
5. Оценка состояния природной среды в районах расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / *С.М. Киселев* [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 4 (88). С. 27–42.
6. Радиационная обстановка в сельских населенных пунктах Новозыбковского района Брянской области по итогам паспортизации / *В.В. Кречетников* [и др.] // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (68). С. 51–56.
7. *Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В.* Оценка воздействия радиационных выбросов на биоту // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 6. С. 575–582.
8. Обеспечение радиационной безопасности биообъектов при реабилитации территорий, загрязненных ^{90}Sr и ^{137}Cs / *А.В. Тумов* [и др.] // Радиация и риск. 2019. Т. 28, № 1. С. 82–91. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-82-91.
9. Динамика снижения содержания ^{137}Cs в кормовых культурах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / *С.В. Фесенко* [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62, № 2. С. 185–195. DOI: 10.31857/S0869803122010040.
10. *Цветнова О.Б., Кононец О.П., Щеглов А.И.* Естественные и техногенные радионуклиды в почвах юго-западной части Крымского полуострова // Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: мат-лы междуна-род. науч.-практ. конф. Обнинск, 2021. С. 220–223.
11. *Аверин В.С.* Формирование поглощенных доз у крупного рогатого скота от внешнего и внутреннего облучения в условиях пастбищного содержания на загрязненной радионуклидами территории // Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна. 2015. № 1 (45). С. 3–9.
12. *Гулаков А.В., Дроздов Д.Н.* Оценка поглощенной дозы внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории радиоактивного загрязнения // Радиоэкологические последствия радиационных аварий к 35-й годовщине аварии на ЧАЭС: сб. докл. междуна-род. науч.-практ. конф. (г. Обнинск, 22–23 апреля 2021 г.) / под ред. *Н.И. Санжаровой, В.М. Шершак-ова*. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2021. С. 65–67.
13. *Звонова И.А.* Дозы внутреннего облучения у населения префектуры Фукусима вследствие аварии на АЭС Фукусима-Дайичи / Радиационная гигиена. 2020. Т. 14, № 3. С. 98–109. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-98-109.
14. Contamination of agricultural lands in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions with ^{137}Cs as a result of the Chernobyl accident: Current status and prognosis / *A.V. Panov* [et al.] // Radiation and Risk. 2017. Т. 26 (3). P. 66–74.
15. Radionuclide Contamination as a Risk Factor in Terrestrial Ecosystems: Occurrence, Biological Risk, and Strategies for Remediation and Detoxification / *P. Ostoich* [et al.] // The Toxicity of Environmental Pollutants. 2022. P. 1–7. DOI: 10.5772/intechopen.104468.
16. Атлас Современной радиационной обстановки на территории Красноярского края / М-во экологии и рационального природопользования Красноярского края. Красноярск, 2019. 84 с.
17. Сравнительная оценка содержания переходных металлов (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd) и радиоцезия (^{137}Cs) в щуке (*Esox lucius*) и налиме (*Lota lota*) р. Енисей / *Т.А. Зотина* [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2022. Т. 29, № 1. С. 111–121. DOI: 10.15372/SEJ20220110.
18. *Мартынова А.М., Носов А.В.* Оценка радиоактивного загрязнения Среднего Енисея // Атомная энергия. 1997. Т. 85, Вып. 5. С. 372–378.
19. *Ракитский В.Н., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е.* Расчет дозы облучения для некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей в период деятельности предприятия ядерно-топлив-

- ного цикла – Горно-химического комбината, г. Красноярск // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 3. С. 22–29. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29.
20. *Кимаковская Н.А., Перепелятников Г.П.* Радиоэкологическое обоснование принципа нормирования содержания цезия-137 в почвах сельскохозяйственных угодий // Безопасность и техника. 2014. Т. 33. С. 45–50.
21. *Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н.* Поступление радионуклидов из почвы в растения в зоне радиоактивных выпадений на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Радиация и риск. 2013. Т. 22, № 3. С. 65–71.
22. *Ашинов Ю.Н., Схашок Ф.Ю.* Радионуклиды ^{137}Cs ^{90}Sr в пахотных почвах Адыгеи // Новые технологии. М., 2013. № 1. С. 56–59.
23. *Окунев А.М., Мерзляков Л.И.* Особенности накопления некоторых техногенных радионуклидов в кормовых культурах на типовых почвах юга Тюменской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1, Ч. 2. С. 144–146.
24. *Лукин С.В., Хижняк Р.М.* Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. «Естественные науки». 2012. Т. 21, вып. 21. С. 154–159.
25. *Щур А.В., Валько В.П.* Особенности перехода радионуклидов в хозяйственно ценную растительность // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Вып. № 2. С. 53–59.
26. Аккумуляция ^{137}Cs растениями луговых экосистем приграничных территорий Брянской, Гомельской и Черниговской областей / *А.Д. Булохов* [и др.] // Научный диалог. 2014. № 1. С. 5–13.
27. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. М.: ВНИИС-ХРАЭ, 2000. 28 с.
28. *Федотова А.С.* Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края // Аграрный вестник Урала. 2021. № 12 (215). С. 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.
29. *Федотова А.С.* Техногенное радиоактивное загрязнение сенокосных биогеоценозов аграрных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2009. № 5. С. 75–81.
30. *Егорова И.А., Кислицина Ю.В., Пузанов А.В.* Особенности накопления радионуклидов в растениях Северо-Западного Алтая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 11 (61). С. 32–38.
31. *Акмуллина Н.В.* Радиоэкологический мониторинг объектов ветеринарного надзора // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана. 2014. Т. 220, № 4. С. 14–16.

References

1. Vliyanie izvesti na biologicheskuyu podvizhnost' ^{137}Cs v pochvah razlichnyh tipov / *N.V. Andreeva* [i dr.] // Agrohimicheskij vestnik. 2018. Т. 5, № 5. S. 48–52.
2. Vliyanie reabilitacionnyh meropriyatij na perehod ^{137}Cs v sisteme pochva–rastenie–produkcija zhivotnovodstva na radioaktivno zagryaznennyh kormovyh ugod'yah Kaluzhskoj oblasti / *S.P. Arysheva* [i dr.] // Dnevnik nauki. 2018. № 5 (17). S. 5.
3. Radionuklidy v pochvah, vodah i prizemnom vozduhe v otдел'nyh gornyh mestnostyah Uzbekistana / *N.N. Bazarbaev* [i dr.] // Radiacionnaya biologiya, radio'ekologiya. 2022. Т. 62, № 2. S. 206–219.
4. *Boginskaya A.I.* Zagryaznenie pochvennogo pokrova Bryanskoj oblasti tehnogennymi radionuklidami (^{137}Cs i ^{90}Sr) // Meteorologicheskij vestnik. 2018. Т. 10, № 2. S. 28–36.
5. Ocenka sostoyaniya prirodnoj sredy v rajonah raspolzheniya ob'ektov yadernogo naslediya v Dal'nevostochnom regione Rossii / *S.M. Kiselev* [i dr.] // Voprosy radiacionnoj bezopasnosti. 2017. № 4 (88). S. 27–42.
6. Radiacionnaya obstanovka v sel'skih naselennyh punktah Novozybkovskogo rajona Bryanskoj oblasti po itogam pasportizacii / *V.V. Krechetnikov* [i dr.] // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2018. № 4 (68). S. 51–56.

7. *Perevolockij A.N., Perevolockaya T.V.* Ocenka vozdeystviya radiacionnyh vybrosov na biotu // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2020. T. 90, № 6. S. 575–582.
8. Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti bioob`ektov pri reabilitacii territorij, zagryaznennyh ^{90}Sr i ^{137}Cs / A.V. Titov [i dr.] // Radiaciya i risk. 2019. T. 28, № 1. S. 82–91. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-82-91.
9. Dinamika snizheniya sodержaniya ^{137}Cs v kormovyh kul'turah v otdalennyj period posle avarii na Chernobyl'skoj A`ES / S.V. Fesenko [i dr.] // Radiacionnaya biologiya. Radio`ekologiya. 2022. T. 62, № 2. S. 185–195. DOI: 10.31857/S0869803122010040.
10. *Cvetnova O.B., Kononec O.P., Scheglov A.I.* Estestvennye i tehnogennye radionuklidy v pochvah yugo-zapadnoj chasti Krymskogo poluostrova // Radio`ekologicheskie posledstviya radiacionnyh avarij: k 35-j godovschine avarii na ChA`ES: mat-ly mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. Obninsk, 2021. S. 220–223.
11. *Averin V.S.* Formirovanie pogloschennyh doz u krupnogo rogatogo skota ot vneshnego i vnutrennego oblucheniya v usloviyah pastbischnogo sodержaniya na zagryaznennoj radionuklidami territorii // Vesnik MDPU imya I.P. Shamyakina. 2015. № 1 (45). S. 3–9.
12. *Gulakov A.V., Drozdov D.N.* Ocenka pogloschennoj dozy vnutrennego oblucheniya krupnyh mlekopitayuschih, obitayuschih na territorii radioaktivnogo zagryazneniya // Radio`ekologicheskie posledstviya radiacionnyh avarij k 35-j godovschine avarii na ChA`ES: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Obninsk, 22–23 aprelya 2021 g.) / pod red. N.I. Sanzharovoj, V.M. Shershakova. Obninsk: VNIIRA`E, 2021. S. 65–67.
13. *Zvonova I.A.* Dozy vnutrennego oblucheniya u naseleniya prefektury Fukusima vsledstvie avarii na A`ES Fukusima-Dajichi / Radiacionnaya gigiena. 2020. T. 14, № 3. S. 98–109. DOI: 10.21514/1998-426H-2020-13-3-98-109.
14. Contamination of agricultural lands in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions with ^{137}Cs as a result of the Chernobyl accident: Current status and prognosis / A.V. Panov [et al.] // Radiation and Risk. 2017. T. 26 (3). P. 66–74.
15. Radionuclide Contamination as a Risk Factor in Terrestrial Ecosystems: Occurrence, Biological Risk, and Strategies for Remediation and Detoxification / P. Ostoich [et al.] // The Toxicity of Environmental Pollutants. 2022. P. 1–7. DOI: 10.5772/intechopen.104468.
16. Atlas Sovremennoj radiacionnoj obstanovki na territorii Krasnoyarskogo kraja / M-vo `ekologii i racional'nogo prirodopol'zovaniya Krasnoyarskogo kraja. Krasnoyarsk, 2019. 84 s.
17. Sravnitel'naya ocenka sodержaniya perehodnyh metallov (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd) i radioceziya (^{137}Cs) v schuke (*Esox lucius*) i nalime (*Lota lota*) r. Enisej / T.A. Zotina [i dr.] // Sibirskij `ekologicheskij zhurnal. 2022. T. 29, № 1. S. 111–121. DOI: 10.15372/SEJ20220110.
18. *Martynova A.M., Nosov A.V.* Ocenka radioaktivnogo zagryazneniya Srednego Eniseya // Atomnaya `energiya. 1997. T. 85, Vyp. 5. S. 372–378.
19. *Rakitskij V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E.* Raschet dozy oblucheniya dlya nekotoryh komponentov pischevoj cepochki presnovodnoj `ekosistemy reki Enisej v period deyatel'nosti predpriyatiya yaderno-toplivnogo cikla – Gorno-himicheskogo kombinata, g. Krasnoyarsk // Radiacionnaya gigiena. 2018. T. 11, № 3. S. 22–29. DOI: 10.21514/1998-426H-2018-11-3-22-29.
20. *Kimakovskaya N.A., Perepelyatnikov G.P.* Radio`ekologicheskoe obosnovanie principa normirovaniya sodержaniya ceziya-137 v pochvah sel'skohozyajstvennyh ugodij // Bezopasnost' i tehnika. 2014. T. 33. S. 45–50.
21. *Larionova N.V., Lukashenko S.N.* Postuplenie radionuklidov iz pochvy v rasteniya v zone radioaktivnyh vypadenij na territorii byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona // Radiaciya i risk. 2013. T. 22, № 3. S. 65–71.
22. *Ashinov Yu.N., Shashok F.Yu.* Radionuklidy ^{137}Cs ^{90}Sr v pahotnyh pochvah Adygei // Novye tehnologii. M., 2013. № 1. S. 56–59.
23. *Okunев A.M., Merzlyakov L.I.* Osobennosti nakopleniya nekotoryh tehnogennyh radionuklidov v kormovyh kul'turah na tipovyh pochvah yuga Tyumenskoj oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 1, Ch. 2. S. 144–146.
24. *Lukin S.V., Hizhnyak R.M.* Rezul'taty radio`ekologicheskogo monitoringa agro`ekosistem Belgorodskoj oblasti // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta.

- Ser. «Estestvennye nauki». 2012. T. 21, vyp. 21. S. 154–159.
25. Schur A.V., Val'ko V.P. Osobennosti perehoda radionuklidov v hozyajstvenno cennuyu rastitel'nost' // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2014. Vyp. № 2. S. 53–59.
26. Akkumulyaciya ^{137}Cs rasteniyami lugovyh `ekosistem prigranichnyh territorij Bryanskoj, Gomel'skoj i Chernigovskoj oblastej / A.D. Bulohov [i dr.] // Nauchnyj dialog. 2014. № 1. С. 5–13.
27. МУ 13.5.13-00. Organizaciya gosudarstvennogo radio`ekologicheskogo monitoringa agro`ekosistem v zone vozdejstviya radiononopasnyh ob`ektov. M.: VNIISHRA`E, 2000. 28 s.
28. Fedotova A.S. Osobennosti rascheta pogloshchennyh doz oblucheniya dlya krupnogo rogatogo skota v usloviyah Krasnoyarskogo kraja // Agrarnyj vestnik Urala. 2021. № 12 (215). S. 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.
29. Fedotova A.S. Tehnogennoe radioaktivnoe zagryaznenie senokosnyh biogeocenzov agrarnyh landshaftov lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. 2009. № 5. S. 75–81.
30. Egorova I.A., Kislicina Yu.V., Puzanov A.V. Osobennosti nakopleniya radionuklidov v rasteniyah Severo-Zapadnogo Altaya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. № 11 (61). S. 32–38.
31. Akmullina N.V. Radio`ekologicheskij monitoring ob`ektov veterinarnogo nadzora // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny imeni N.`E. Baumana. 2014. T. 220, № 4. S. 14–16.

Статья принята к публикации 26.05.2023 / The article accepted for publication 26.05.2023.

Информация об авторах:

Арина Сергеевна Федотова, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Arina Sergeevna Fedotova, Associate Professor at the Department of Internal Non-Contagious Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals, Candidate of Biological Sciences, Docent

