

Научная статья/Research Article

УДК 636/639:546.36 (571.51)

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-184-191

Арина Сергеевна Федотова

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

МИГРАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ^{137}Cs В АГРОПРОДУКЦИЮ БИОГЕОЦЕНОЗОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Цель исследования – в аграрных ландшафтах Красноярского края с дополнительным радиационным грузом определить интенсивность движения ^{137}Cs по трофической цепи «почва – рацион – продукция животноводства». Приведен литературный обзор научных данных, характеризующих особенности миграционной активности ^{137}Cs в звеньях «почва – корма – продукция животноводства» в агробиоценозах, имеющих радиоактивное загрязнение выше установленных нормативов. На основании результатов радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края и расчета поглощенных доз автором выделены агроландшафты с дополнительным техногенным загрязнением, определена удельная активность ^{137}Cs в кормах и молоке коровьем в агроландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой. Значения удельной активности ^{137}Cs в кормах агроландшафтов с дозами 1,33 и 1,55 мГр/год выше фонового значения по Красноярскому краю. Содержание ^{137}Cs в продукции животноводства, производимой в ферменных биогеоценозах, имеющих дополнительную техногенную нагрузку, выше среднего показателя по краю, но не превышает критерий нормативных документов, соответственно на территории Красноярского края производится радиационно-безопасная агропродукция. Для аграрных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 мГр/год установлен K_p для звена «корма – продукция животноводства». При изменении радиоэкологической ситуации установленные значения K_p могут использоваться для прогнозирования миграции ^{137}Cs в цепи «почва – корма – продукция животноводства». Между удельной активностью ^{137}Cs в кормах и концентрацией ^{137}Cs в молоке коровьем выявлена прямая линейная умеренная ранговая корреляционная связь по Спирмену. Определены уравнения линейной регрессии, позволяющие определить удельную активность молока коровьего на основании данных по удельной активности ^{137}Cs в кормах. Выявленная прямая линейная зависимость свидетельствует, что даже небольшое повышение активности рациона по ^{137}Cs приводит к эквивалентному увеличению удельной активности техногенного цезия в молоке коровьем.

Ключевые слова: ^{137}Cs , корма, агробиоценозы, удельная активность, молоко коровье, коэффициенты накопления, линейная регрессия, корреляция

Для цитирования: Федотова А.С. Миграционная активность ^{137}Cs в агропродукцию биогеоценозов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5. С. 184–191. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-184-191.

Arina Sergeevna Fedotova

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
krasfas@mail.ru

MIGRATION ACTIVITY OF ^{137}Cs INTO AGRICULTURAL PRODUCTS OF BIOGEOCENOSSES OF THE KRASNOYARSK REGION

The purpose of the study is to determine the intensity of ^{137}Cs movement along the trophic chain "soil – diet – livestock products" in the agricultural landscapes of the Krasnoyarsk Region with additional radiation load. A literature review of scientific data characterizing the features of the migration activity of ^{137}Cs in the links "soil – feed – livestock products" in agrobiocenoses with radioactive contamination above established standards is given. Based on the results of a radioecological survey of agricultural landscapes in the central regions of the Krasnoyarsk Region and calculation of absorbed doses, the author identified agricultural landscapes with additional technogenic pollution and determined the specific activity of ^{137}Cs in feed and cow's milk in agricultural landscapes with additional technogenic load. The specific activity values of ^{137}Cs in agricultural landscape feeds with doses of 1.33 and 1.55 mGy/year are higher than the background value for the Krasnoyarsk Region. The content of ^{137}Cs in livestock products produced in farm biogeocenoses with additional technogenic load is higher than the average for the region, but does not exceed the criterion of regulatory documents; accordingly, radiation-safe agricultural products are produced on the territory of the Krasnoyarsk Region. For agricultural landscapes with absorbed doses of 1.33 and 1.55 mGy/year, a KP for the link "feed – livestock products" has been established. When the radioecological situation changes, the established Kp values can be used to predict the migration of ^{137}Cs in the chain "soil – feed – livestock products". A direct linear moderate Spearman rank correlation was identified between the specific activity of ^{137}Cs in feed and the concentration of ^{137}Cs in cow's milk. Linear regression equations have been determined to determine the specific activity of cow's milk based on data on the specific activity of ^{137}Cs in feed. The revealed direct linear relationship indicates that even a slight increase in the ^{137}Cs activity of the diet leads to an equivalent increase in the specific activity of technogenic cesium in cow's milk.

Keywords: ^{137}Cs , feed, agrobiocenoses, specific activity, cow's milk, accumulation coefficients, linear regression, correlation

For citation: Fedotova A.S. Migration activity of ^{137}Cs into agricultural products of biogeocenoses of the Krasnoyarsk Region // Bulliten KrasSAU. 2024;(5): 184–191 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-184-191.

Введение. Увеличение радиоактивной антропогенной нагрузки на аграрные ландшафты является значимой радиобиологической проблемой. На сегодняшний день достаточно тщательно изучена радиационная обстановка в аграрных ландшафтах с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, сформированным благодаря радиационным катастрофам и испытаниям ядерного оружия.

Оценка удельной активности кормов является неотъемлемым этапом мониторинга радиационной безопасности. В результате радиоэкологического мониторинга в республике Татарстан в 2007–2011 гг. установлено, что содержание ^{137}Cs в объектах ветнадзора не превышало установленных норм, содержание ^{137}Cs в агропродукции: молоко коровье – 0,12 Бк/кг; говядина – 2,58; солома – 0,66; свекла кормовая – 0,25 Бк/кг [1]. С.В. Фесенко с соавторами установили, что в агrobiоценозах юго-запада Брянской области плотность загрязнения почвы ^{137}Cs находится в диапазоне 47–745 кБк/м², авторы

выделяют три периода полуснижения ^{137}Cs в продукции растениеводства: с 1987 по 1993 г. – 0,58–1,4 года; с 1994 по 2006 г. – 4,4–34,7 лет и с 2007 по 2021 г. – 8,9–50 лет и более [2].

В агrobiоценозах территории ВУРС в 2005–2007 гг., по данным М.Ю. Кадочникова, концентрация ^{137}Cs в кормах составляла: силос – 0,4–0,7 Бк/кг; грубые корма – 1,8–2,2; концентрированные – 0,5–1,4 Бк/кг [3]. А.С. Кривоногова установила в 2012–2017 гг., что в агrobiоценозах на территории ВУРС в готовой кормовой смеси концентрация ^{137}Cs составляла $(3,25 \pm 0,10)$ Бк/кг, ^{90}Sr – $(3,83 \pm 0,09)$ Бк/кг [4].

Поступление ^{137}Cs в организм животных происходит алиментарным и аэрогенным путем. Н.Н. Исамовым с соавторами построены статистические модели, описывающие всасывание радионуклидов в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных в зависимости от возраста, проведено ранжирование радионуклидов на основе коэффициентов всасывания для сельскохозяйственных животных, в резуль-

тате установлена следующая последовательность: ^{144}Ce , $^{91}\text{Y} < ^{106}\text{Ru} < ^{60}\text{Co} < ^{90}\text{Sr}$, ^{65}Zn , $^{45}\text{Ca} < ^{137}\text{Cs} < ^{131}\text{I}$ [5].

Усвоение ^{137}Cs происходит в тонком кишечнике, степень всасывания приближается к 100 % в связи с тем, что в биосфере он находится в водорастворимой форме, но по некоторым данным коэффициент всасывания ^{137}Cs составляет 50 % [5]. Установлен высокий коэффициент перехода ^{137}Cs во внутреннюю среду организма животных с однокамерным желудком, молодняка и беременных [6]. Концентрация ^{137}Cs в молоке коровьем при однократном алиментарном поступлении медленно увеличивается в первые 24 ч, максимальные значения фиксируются на 48 ч, затем в течение 144 ч концентрация снижается [7]. При хроническом алиментарном поступлении ^{137}Cs выделение зависит от продуктивности животных и составляет 0,25–13 % от суточного поступления на 1 л молока. С.В. Фесенко с соавторами изучили закономерности изменения концентрации ^{137}Cs в молоке коровьем с территории, загрязненной при аварии на ЧАЭС, в результате работы выделены факторы, определяющие K_p : плотность загрязнения, свойства почвы, проведение защитных и реабилитационных мероприятий. Авторы пришли к заключению, что в данный момент на загрязненной территории происходит снижение миграционной активности ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию [2]. Коэффициент перехода ^{137}Cs из рациона в 1 л молока составляет 1 % от суточного поступления, однако существуют данные, в которых значения K_p ^{137}Cs из рациона в молоко – 0,4 % [8], по результатам ученых Республики Беларусь K_p изотопа составляет 10 % [9].

Из вышесказанного следует, что вопрос миграционной способности ^{137}Cs в агробиоценозах с высоким уровнем радиоактивного загрязнения достаточно изучен. Изыскания преимущественно проводились в районах чрезвычайных ситуаций на предприятиях атомно-промышленного комплекса. Исследований по определению концентрации ^{137}Cs в компонентах агробиоценозов, оценке его миграционной способности в условиях Красноярского края незначительное количество. В регионе внимание ученых привлекало загрязнение русла реки Енисей, на эту тему выполнено достаточно работ: оценены удельные активности основных антропогенных радионук-

лидов в воде, донных отложениях и водных объектах (водорослях и разных видов рыб) на всем протяжении р. Енисей: от точки сброса ФГУП ГХК до Карского моря. Исследованы закономерности их распределения, миграции в компонентах экосистемы и сформулированы модели [10–14]. Оценка особенностей миграционной способности техногенных радионуклидов в цепи «почва – корма – продукция животноводства», определение значения агробиоценозов в производстве радиобезопасной агропродукции в условиях точечного радиоактивного загрязнения относятся к важным вопросам региональной агроэкологии.

В связи с тем, что изотоп ^{137}Cs относится к основным дозообразующим радионуклидам с большим периодом полураспада ($T_{1/2} = 30,167$ лет) определение его миграционной активности в агробиоценозах является актуальным для аграрных ландшафтов, имеющих дополнительное техногенное загрязнение.

Цель исследования – в аграрных ландшафтах Красноярского края с дополнительным радиационным грузом определить интенсивность движения ^{137}Cs по трофической цепи «почва – рацион – продукция животноводства».

Задачи: в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой установить уровни загрязнения ^{137}Cs почвы, кормов и молока коровьего; рассчитать K_p техногенного цезия в корма и молоко коровье; провести корреляционный анализ результатов; при помощи уравнений линейной регрессии описать миграционную активность ^{137}Cs в звене «корма – продукция животноводства».

Объекты и методы. Исследование проведено в соответствии с нормативными документами [15] в течение 2016–2018 гг. в аграрных ландшафтах Сухобузимского и Казачинского районов Красноярского края. Аграрные ландшафты, исследованные в работе, имели дополнительную техногенную радиоактивную нагрузку и как результат большие величины поглощенных доз для продуктивных животных. Установление величин поглощенных доз для продуктивных животных выполнено А.С. Федотовой в 2021 г. [16]. Исследование выполнено в двух агроландшафтах: агроландшафт с. Момотово (в ферменных биогеоценозах этого ландшафта крупный рогатый скот испытывает действие поглощенной дозы в 1,33 мГр/год); агроландшафт

с. Большой Балчуг (поглощенная доза для коров составляла 1,55 мГр/год). Аграрные ландшафты территориально принадлежат зоне наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК»). Аграрный ландшафт с. Момотово расположен в 183 км в северном направлении от г. Красноярска на правом берегу реки Енисей, с. Б. Балчуг – в 40 км в северо-восточном направлении от г. Красноярска на правом берегу р. Енисей. На пастбищных и сенокосных агробиоценозах, расположенных на берегу р. Енисей, ранее автором были выявлены участки с дополнительным техногенным грузом, который сформировался благодаря предыдущей деятельности ФГУП «ГХК» [17].

Удельная активность ^{137}Cs в грубых, сочных кормах и продукции животноводства определя-

лась согласно методикам ФГУП ВНИИМ с предварительным озолением. Удельную активность определяли на гамма-спектрометрах МКГБ-01 «РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметре – радиометре МКС-АТ130 в геометрии сосуда Мари-нелли в течение 7 200 с. Исследования выполнены в радиологической лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» и лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь».

Результаты и их обсуждение. На сегодняшний день миграция ^{137}Cs по трофической цепи «почва – рацион – продукция животноводства» в аграрных ландшафтах с дополнительным техногенным грузом находится в изостатическом состоянии. Полученные значения при радиозоологическом мониторинге тестируемых аграрных ландшафтов отражены в таблице 1.

Таблица 1

Концентрация ^{137}Cs в звеньях миграции

Поглощенная доза, мГр/год	Число проб	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	
		Интервал значений	Среднее значение
Почва			
1,33	30	14,1–435,3	284,2 ± 36,3
1,55	40	5,0–356,0,0	120,8 ± 18,7
Грубые и зеленые корма			
1,33	30	1,22–14,17	6,81 ± 2,25
1,55	30	1,11–7,98	2,94 ± 0,84
Молоко коровье			
1,33	15	0,58–2,41	1,33 ± 0,19
1,55	15	0,52–2,00	1,07 ± 0,20

Имеются данные, что удельная активность ^{137}Cs в продукции животноводства на территориях с глобальным техногенным фоном во много раз ниже значений, установленных нормативными документами. В республике Татарстан удельное содержание ^{137}Cs в молоке коровьем – 0,12 Бк/кг, в говядине – 2,58 Бк/кг [1]. Нами определено, что концентрация ^{137}Cs в молоке коровьем в радиационно чистых ферменных биогеоценозах составила 0,16 Бк/кг, что полностью согласуется с данными, полученными в других районах РФ. Выявлено превышение содержания ^{137}Cs в коровьем молоке агроландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой (1,07–1,33 Бк/л) по сравнению со средними данными РФ, но установленные значения много меньше гигиенического норматива [18]. На основании вышеприведенных данных можно заключить, что в ферменных биогеоценозах аграрных ланд-

шафтов Красноярского края производится радиобезопасная агропродукция.

Миграцию ^{137}Cs в цепи «почва – корма – продукция животноводства» оценивали при помощи коэффициента перехода (K_n), который рассчитывался как концентрационное отношение в звене миграции к предшествующему звену. Статистические методы использовались для вычисления коэффициентов корреляции и построения линейных регрессионных моделей. Наличие корреляционной зависимости (r_{xy}) между удельной активностью ^{137}Cs в звеньях цепи миграции определялось путем расчета коэффициента ранговой корреляции по Спирмену. Значение достоверности аппроксимации (R), уравнения регрессии рассчитывались в программе MS Excel.

Расчет K_n (табл. 2) проведен на стойловый период, для расчета использовались данные радиозоологического обследования (см. табл. 1).

Значение коэффициента перехода ^{137}Cs в звеньях цепи

Поглощенная доза, мГр/год	Звено	Значение
1,33	Почва – корма	0,02
	Корма – молоко	0,2
1,55	Почва – корма	0,02
	Корма – молоко	0,4

Значения K_p изотопов ^{137}Cs в коровье молоко в агроландшафтах с дополнительным техногенным грузом принадлежат интервалу опубликованных результатов, полученных в других субъектах РФ, на территории Казахстана и Республики Беларусь. Однако в этой работе они приобрели конкретные численные выражения и характеризуют миграционную активность ^{137}Cs в аграрных ландшафтах Красноярского края. По данным источников K_p ^{137}Cs в молоко коровье составляет 1 %, в мышечную ткань – 8 % от суточного поступления, однако существуют научные результаты, в которых значения K_p ^{137}Cs из рациона в молоко – 0,4 % [19], по результатам ученых Республики Беларусь K_p ^{137}Cs в продукцию составляет 1 % [20]. Установлено, что значение K_p ^{137}Cs в молоко коровье в агробиоценозах Красноярского края с установленным техногенным загрязнением составляет 0,2–0,4, что соответствует интервалу результатов, полученных в аграрных ландшафтах других субъектов

России. При изменении радиэкологической ситуации коэффициенты могут быть использованы для прогнозирования миграции ^{137}Cs в корма и молоко коровье.

На основе биометрической обработки данных с применением статистического пакета программы MS Excel в агроландшафтах с техногенной нагрузкой выявлена прямая линейная умеренная ранговая взаимосвязь по Спирмену между содержанием ^{137}Cs в кормах и концентрацией ^{137}Cs в молоке коровьем, в агроландшафте с дозой 1,35 мГр/год $r = 0,96$, с дозой 1,35 мГр/год $r = 0,94$. Практически важным является определение количественной связи между звеньями в любой период мониторинговых исследований. Линейное соотношение концентрации ^{137}Cs в молоке от содержания изотопа в кормах в ферменных биоценозах в агроландшафте с дозой 1,33 мГр/год представлено на рисунке 1, А, в агроландшафте с дозой 1,33 мГр/год – на рисунке 1, Б.

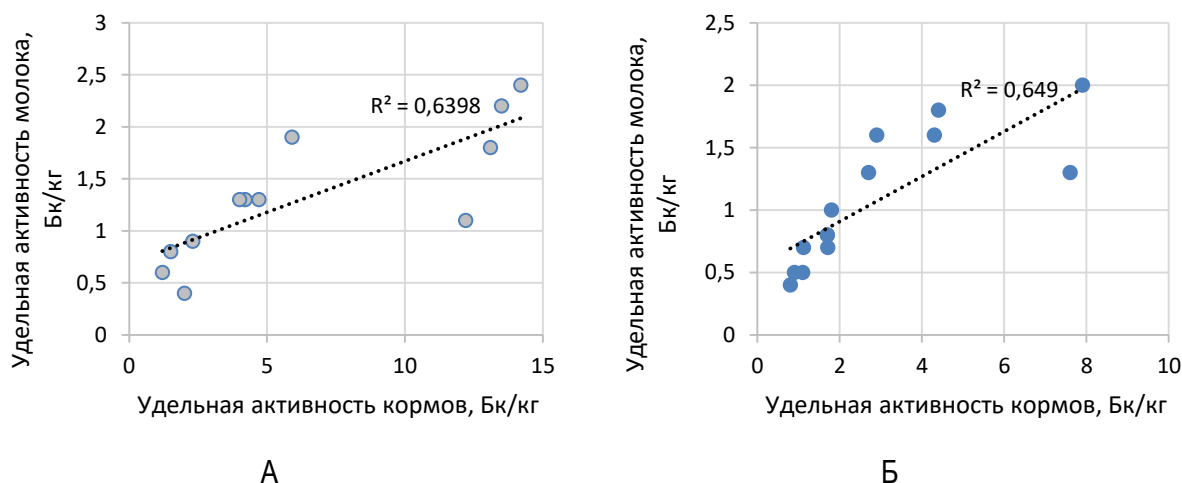


Рис. 1. Зависимость содержания ^{137}Cs в молоке и кормах в агроландшафтах с дозой 1,33 мГр/год (А), 1,55 мГр/год (Б)

Наличие линейной зависимости позволяет использовать уравнения линейной регрессии для расчета содержания ^{137}Cs в молоке (y) на основе данных по удельной активности ^{137}Cs (x) в кормах для агроландшафта с дозой 1,33 мГр/год ($R^2 = 0,64$):

$$y = 0,098x + 0,689.$$

Для агроландшафта с дозой 1,55 мГр/год ($R^2 = 0,65$):

$$y = 0,180x + 0,548.$$

Полученные соотношения считаются предсказуемыми, поскольку концентрация изотопов ^{137}Cs в продукции животноводства очевидно должна напрямую обуславливаться радиоактивностью кормов, составляющих рацион животных. Однако впервые они описаны уравнением, позволяющим рассчитать удельную активность ^{137}Cs в молоке при определенной активности кормов, что имеет несомненную практическую значимость. Определенная в работе прямая линейная зависимость показывает, что незначительное повышение активности рациона, обусловленное присутствием ^{137}Cs , приводит к эквивалентному увеличению удельной активности изотопа в агропродукции.

Заключение. В результате работы в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой установлены уровни загрязнения ^{137}Cs почвы, кормов и молока коровьего, на основании чего можно утверждать, что в аграрных ландшафтах центральных районов Красноярского края производится радиационно-безопасная агропродукция. Рассчитаны K_n техногенного цезия в корма и молоко коровье. В результате корреляционного анализа в аграрных ландшафтах Красноярского края с дополнительным техногенным радиоактивным загрязнением выявлены коэффициенты миграции ^{137}Cs . Концентрация ^{137}Cs в почвах агробиоценозов может использоваться как объективный показатель удельной активности ^{137}Cs в продукции животноводства и растениеводства. Это имеет практическую ценность, так как с применением уравнений линейной регрессии существует возможность прогнозировать степень радиационной опасности продукции животноводства на основании многочисленных сведений об уровне техногенного радиоактивного загрязне-

ния почв. В результате у владельцев агробиоценозов есть возможность выбора, подбора, замены сенокосно-пастбищных агробиоценозов в аграрных ландшафтах с установленной техногенной нагрузкой для производства радиационно-безопасной агропродукции.

Список источников

1. Акмуллина Н.В. Радиоэкологический мониторинг объектов ветеринарного надзора // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2014. Т. 220, вып. № 4. С. 14–16.
2. Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в молоке в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко [и др.] // Радиоэкология. 2004. Т. 44, № 3. С. 336–345.
3. Кадочников М.Ю. Эколого-биологические особенности крупного рогатого скота в районах интенсивного техногенного загрязнения окружающей среды: автореф. дис. ... канд. ветеринар. наук. Екатеринбург, 2007. 23 с.
4. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование и разработка системы получения качественной продукции молочного животноводства в регионе с комбинированным техногенным загрязнением: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2017. 44 с.
5. Исамов Н.Н., Фесенко С.В. Анализ закономерностей всасывания радионуклидов в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61, № 1. С. 87–104. DOI: 10.31857/S0869803121010069.
6. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues / S. Fesenko [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. 2018. Т. 192. P. 233–249. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.06.012.
7. Predicting the transfer of radiocaesium from organic soils to plants using soil characteristics / J.P. Absalom [et al.] // Journal Environmental Radioactivity 52. 2001. P. 31–43.
8. Окунев А.М. Особенности перехода техногенных радионуклидов из рациона в молоко и мясо коров при пастбищном содержании на юге Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2018. № 6. С. 250–254.

9. *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.
10. Особенности формирования доз в населенных пунктах, расположенных на берегах Енисея в зоне наблюдения Горно-химического комбината / *А.И. Григорьев [и др.]* // Радиэкология XXI века: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 14–16 мая 2012 г. Красноярск: СФУ, 2012. С. 235–246.
11. Сравнительная оценка содержания переходных металлов (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd) и радиоцезия (¹³⁷Cs) 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.
12. Атлас современной радиационной обстановки на территории Красноярского края / М-во экологии и рационального природопользования Красноярского края. Красноярск, 2019. 84 с.
13. *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-топливного 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.
14. Закономерности распределения радионуклидов в долине реки Енисей / *Ф.В. Сухорукое [и др.]*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 286 с.
15. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. М.: ВНИИС-ХРАЭ, 2000. 28 с.
16. *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.
17. *Федотова А.С.* Техногенное радиоактивное загрязнение сенокосных биогеоценозов аграрных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2009. № 5. С. 75–81.
18. СанПиН 2.3.2.2401-08. Дополнения и изменения № 10 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». М.: ЭКСПРЕСС, 2008. 27 с.
19. *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.
20. *Карпенко А.Ф.* О производстве молока в частном секторе на территории радиоактивного загрязнения // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (77). С. 33–37.

References

1. *Akmullina N.V.* Radio`ekologicheskij monitoring ob`ektov veterinarnogo nadzora // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.`E. Baumana. 2014. Т. 220, вып. № 4. С. 14–16.
2. *Zakonomemosti izmeneniya soderzhaniya ¹³⁷Cs v moloke v otdalennyj period posle avarii na Chernobyl'skoj A`ES / S.V. Fesenko [i dr.]* // Radio`ekologiya. 2004. Т. 44, № 3. С. 336–345.
3. *Kadochnikov M.Yu.* `Ekologo-biologicheskie osobennosti krupnogo rogatogo skota v rajonah intensivnogo tehnoennogo zagryazneniya okruzhayushej sredy: avtoref. dis. ... kand. veterinar. nauk. Ekaterinburg, 2007. 23 s.
4. *Krивonogova A.S.* Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka sistemy polucheniya kachestvennoj produkcii molochnogo zhivotnovodstva v regione s kombinirovannym tehnoennym zagryazneniem: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. M., 2017. 44 s.
5. *Isamov N.N., Fesenko S.V.* Analiz zakonomernostej vsasyvaniya radionuklidov v zheludochno-kishechnom trakte sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh // Radiacionnaya biologiya. Radio`ekologiya. 2021. Т. 61, № 1. С. 87–104. DOI: 10.31857/S0869803121010069.
6. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues / *S. Fesenko [et al.]* // Journal of Environmental Radioactivity. 2018.

- Т. 192. P. 233–249. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.06.012.
7. Predicting the transfer of radiocaesium from organic soils to plants using soil characteristics / J.P. Absalom [et al.] // Journal Environmental Radioactivity 52. 2001. P. 31–43.
 8. Okunev A.M. Osobennosti perehoda tehnogennykh radionuklidov iz raciona v moloko i myaso korov pri pastbischnom sodержanii na yuge Tyumenskoj oblasti // Vestnik KrasGAU. 2018. № 6. S. 250–254.
 9. Kimakovskaya N.A., Perepelyatnikov G.P. Radio`ekologicheskoe obosnovanie principa normirovaniya sodержaniya ceziya-137 v pochvah sel'skohozyajstvennykh ugodij // Bezopasnost' i tehnika. 2014. T. 33. S. 45–50.
 10. Osobennosti formirovaniya doz v naselennykh punktah, raspolzhenykh na beregah Eniseya v zone nablyudeniya Gorno-himicheskogo kombinata / A.I. Grigor'ev [i dr.] // Radio`ekologiya XXI veka: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Krasnoyarsk, 14–16 maya 2012 g. Krasnoyarsk: SFU, 2012. S. 235–246.
 11. Sravnitel'naya ocenka sodержaniya perehodnykh metallov (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd) i radioceziya (¹³⁷Cs) 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/SEJ20 220110.
 12. Atlas sovremennoj radiacionnoj obstanovki na territorii Krasnoyarskogo kraja / M-vo `ekologii i racional'nogo prirodopol'zovaniya Krasnoyarskogo kraja. Krasnoyarsk, 2019. 84 s.
 13. Rakitskij V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E. Raschet dozy oblucheniya dlya nekotorykh komponentov pischevoj cepochki presnovodnoj `ekosistemy reki Enisej v period deyatelnosti 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.
 14. Zakonomernosti raspredeleniya radionuklidov v doline reki Enisej / F.V. Suhorukov [i dr.]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. 286 s.
 15. MU 13.5.13-00. Organizaciya gosudarstvennogo radio`ekologicheskogo monitoringa agro`ekosistem v zone vozdeystviya radiacionno-opasnykh ob`ektov. M.: VNIISHRA`E, 2000. 28 s.
 16. Fedotova A.S. Osobennosti rascheta pogloschennykh 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.
 17. Fedotova A.S. Tehnogennoe radioaktivnoe zagryaznenie senokosnykh biogeocenovov agrarnykh landshaftov lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. 2009. № 5. S. 75–81.
 18. SanPiN 2.3.2.2401-08. Dopolneniya i izmeneniya № 10 k sanitarno-`epidemiologicheskim pravilam i normativam SanPiN 2.3.2.1078-01 «Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pischevoj cennosti pischevykh produktov». M.: `EKSPRESS, 2008. 27 s.
 19. Okunev A.M., Merzlyakov L.I. Osobennosti nakopleniya nekotorykh tehnogennykh radionuklidov v kormovykh kul'turah na tipovykh pochvah yuga Tyumenskoj oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 1, Ch. 2. S. 144–146.
 20. Karpenko A.F. O proizvodstve moloka v chastnom sektore na territorii radioaktivnogo zagryazneniya // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020. № 1 (77). S. 33–37.

Статья принята к публикации 08.04.2024 / The article accepted for publication 08.04.2024.

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