

Арина Сергеевна Федотова

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

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{137}Cs В ПОЧВАХ АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Цель исследования – определить миграционную активность ^{137}Cs по профилю почв в условиях аграрных ландшафтов с дополнительным радиоактивным загрязнением. Приводится обширный литературный обзор, отражающий техногенное радиоактивное загрязнение территорий, особенности миграционной активности ^{137}Cs на различных типах почв и глубину миграции ^{137}Cs по профилю почв агробиоценозов, загрязненных в результате радиационных аварий на территории РФ. Статья посвящена оценке удельной активности и определению вертикальной миграции ^{137}Cs в почвах и аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края. На основании радиоэкологического обследования территории центральных районов края автором были выделены аграрные ландшафты с дополнительным техногенным загрязнением. Установлено, что среднее значение мощности AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) в аграрных ландшафтах края соответствует диапазону значений, характерных для территории Красноярского края. В аграрном ландшафте без радиационной нагрузки плотность загрязнения почв ^{137}Cs составляла $0,04 \text{ Ки/км}^2$, в ландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением – $0,78; 1,84 \text{ Ки/км}^2$. Значение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов аграрных ландшафтов с техногенным загрязнением превышает средний показатель по Красноярскому краю, согласно региональным нормативам «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края», соответствует уровню «регистрации». Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов с антропогенной нагрузкой свидетельствует о преимущественном накоплении техногенных радионуклидов в 10–20 см слое. В зоне наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат» глубина миграции ^{137}Cs в почвах агробиоценозов с дополнительной техногенной нагрузкой составляет 40 см, что подтверждает предположение о загрязнении некоторых территорий в результате предыдущей деятельности предприятия.

Ключевые слова: ^{137}Cs , почвы, агробиоценозы, удельная активность, плотность загрязнения, МАЭД, глубина залегания

Для цитирования: Федотова А.С. Удельная активность и особенности вертикального распределения ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2023. № 10. С. 129–137. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-129-137.

Arina Sergeevna Fedotova

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

^{137}Cs SPECIFIC ACTIVITY OF VERTICAL DISTRIBUTION IN AGRARIAN LANDSCAPE IN CENTRAL PARTS OF KRASNOYARSK REGION

The purpose of the study is to determine the migration activity of ^{137}Cs according to the soil profile in agricultural landscapes with additional radioactive contamination. An extensive literature review is provided, reflecting technogenic radioactive contamination of territories, features of ^{137}Cs migration activity on

various types of soils and the depth of ^{137}Cs migration along the profile of soils of agrobiocenoses contaminated as a result of radiation accidents on the territory of the Russian Federation. The paper is devoted to assessing the specific activity and determining the vertical migration of ^{137}Cs in soils and agricultural landscapes of the central regions of the Krasnoyarsk Region. Based on a radioecological survey of the territory of the central regions of the region, the author identified agricultural landscapes with additional technogenic pollution. It has been established that the average value of ambient dose equivalent rate (ADR) in the agricultural landscapes of the region corresponds to the range of values characteristic of the territory of the Krasnoyarsk Region. In an agricultural landscape without radiation load, the density of soil contamination with ^{137}Cs was 0.04 Ku/km^2 , in landscapes with additional technogenic pollution – 0.78 ; 1.84 Ku/km^2 . The value of the specific activity of ^{137}Cs in the soils of hay-pasture agrobiocenoses of agricultural landscapes with technogenic pollution exceeds the average for the Krasnoyarsk Region, according to regional standards "Permissible values of radiation pollution of the natural environment in the Krasnoyarsk Region", corresponds to the "registration" level. The vertical distribution of ^{137}Cs in soils of agricultural landscapes with anthropogenic load indicates the predominant accumulation of technogenic radionuclides in the 10–20 cm layer. In the observation zone of the Federal State Unitary Enterprise Mining and Chemical Combine, the depth of migration of ^{137}Cs in the soils of agrobiocenoses with additional technogenic load is 40 cm, which confirms the assumption that some areas have been contaminated as a result of the previous activities of the enterprise.

Keywords: ^{137}Cs , soils, agrobiocenoses, specific activity, pollution density, AEDR, depth

For citation: Fedotova A.S. ^{137}Cs specific activity of vertical distribution in agrarian landscape in central parts of Krasnoyarsk Region // Bulliten KrasSAU. 2023;(10): 129–137. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-129-137.

Введение. Все компоненты биосферы находятся под воздействием ионизирующей радиации, на них непрерывно действует космическое излучение, бета-, гамма-излучение естественных и техногенных изотопов. Совокупность природных источников радиации – это естественный радиационный фон. Дополнительный вклад в радиационный фон вносят антропогенные радионуклиды, образующиеся при работе АЭС и при различных по масштабам радиационных авариях. Антропогенные (техногенные) радионуклиды, включаясь в круговорот веществ в биосфере, и формируют глобальное техногенное загрязнение. Уровень глобального техногенного загрязнения на планете относительно однородный. Однако существуют территории, имеющие локальное (дополнительное) радиоактивное загрязнение. Дополнительное радиоактивное загрязнение регистрируется на территориях, пострадавших в результате радиационных аварий или загрязненных в результате деятельности предприятий ядерно-топливного цикла [1, 2].

Миграция техногенных радионуклидов в настоящее время происходит в экосистемах локальных радиоактивных катастроф и в экосистемах, отягощенных размещением предприятий Росатома РФ. В газо-аэрозольных выбросах АЭС присутствуют техногенные изотопы: ^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{131}I , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs . В ядерном

топливном цикле техногенные радионуклиды образуются в ядерных реакторах АЭС и поступают в окружающую среду. Выбросы регенерационных заводов составляют значительную долю общих выбросов предприятий ядерно-топливного цикла: 99 % выбросов – ^3H , ^{85}Kr , ^{129}I и 70–80 % выбросов – ^{14}C [3].

Основным источником попадания ^{137}Cs в растения является почва. Достаточное концентрирование ^{137}Cs в составе почвенных частиц, незначительное содержание в почвенном растворе является основной причиной низкой его миграционной способности по профилю почвы. Через 4–6 лет после попадания ^{137}Cs на поверхность почвы его средняя миграция по профилю почвы составляет 2 см, в почвах с достаточным содержанием органического вещества миграционная активность ^{137}Cs возрастает [4]. На необработываемых сельскохозяйственных угодьях в естественные агробиоценозах (естественные пастбища и сенокосные угодья) ^{137}Cs , независимо от типа почв, в течение продолжительного времени локализуется в верхних слоях почвы.

Установлено, что в большинстве почв ^{137}Cs находится в верхних слоях (до 20 см), концентрация его экспоненциально убывает с глубиной. Содержание ^{137}Cs в почве зависит от ее типа, содержания гумуса, обменного и остаточного калия, степени увлажненности, видового состава

растений. В настоящее время выявлено заглупление ^{137}Cs по профилю почв. Скорость вертикальной миграции в различных типах почв отличается, подвижность ^{137}Cs прямо пропорциональна концентрации органического вещества, зависит от наличия пластов, обогащенных оксидом железа. Миграционная способность ^{137}Cs в агробиоценозах определена на территориях, загрязненных вследствие аварийных ситуаций на предприятиях атомно-промышленного комплекса. Научных работ по анализу миграционной активности антропогенных радионуклидов в почвах агробиоценозов Красноярского края опубликовано мало. Имеются публикации, посвященные дополнительному загрязнению р. Енисей в результате работы Федерального государственного унитарного предприятия «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК») [5]. Ф.В. Сухоруков (2004) [6] оценил закономерности распределения и миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{52}Eu , ^{240}Pu в компонентах экосистемы р. Енисей. Т.А. Зотиной с соавт. (2022) [7] приведены данные по удельной активности ^{137}Cs в рыбе р. Енисей. А.А. Бурякова (2020) [8] с соавт. определила загрязнение поймы р. Енисей антропогенными изотопами в период с 2000 по 2019 г. в зоне наблюдения ФГУП «ГХК». В.Н. Ракитский с соавт. (2018) [9] установил, что концентрация ^{137}Cs в воде р. Енисей – 0,12 к/кг, в донных образованиях – 1 311 Бк/кг. Вышеприведенные публикации доказывают наличие дополнительного радиоактивного загрязнения поймы р. Енисей в результате предыдущей работы ФГУП «ГХК».

В связи с этим оценка особенностей миграционной способности техногенных радионуклидов в условиях локального техногенного загрязнения агробиоценозов Красноярского края является актуальным вопросом.

Цель исследования – определить миграционную активность ^{137}Cs по профилю почв в условиях аграрных ландшафтов с дополнительным радиоактивным загрязнением.

Задачи: провести радиоэкологическое обследование аграрных ландшафтов; установить уровни загрязнения ^{137}Cs почв агробиоценозов; определить глубину миграции ^{137}Cs по профилю почв.

Материалы и методы. Исследования проводились согласно МУ 13.5.13.-00 «Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов» [10] в период 2016–2018 гг. в аграрных ландшафтах центральных

районов Красноярского края, имеющих различный радиоэкологический статус: п. Борск – контрольный ландшафт, он расположен в 50 км на север от г. Красноярска, в Сухобузимском районе почвы этого ландшафта имеют только глобальное техногенное загрязнение. Тестовые аграрные ландшафты с. Момотово – № 1 и с. Большой Балчуг – № 2. Тестовые аграрные ландшафты территориально находятся в зоне наблюдения ФГУП «ГХК». Село Момотово находится на удалении 183 км на север от г. Красноярска, в Казачинском районе, на правом берегу реки Енисей. Село Б. Балчуг расположено в северо-восточном направлении, в 40 км от г. Красноярска в Сухобузимском районе, в 6 км от границы санитарно-защитной зоны ФГУП «ГХК». Ранее автором на сенокосно-пастбищных агробиоценозах, расположенных на берегу р. Енисей, тестовых аграрных ландшафтов установлены участки с дополнительной антропогенной нагрузкой, которая сформировалась в результате предыдущей деятельности ФГУП «ГХК» [11].

Рекогносцировочное измерение гамма-формы и отбор проб почвы на территории сенокосно-пастбищных агробиоценозов проведено в летний и осенний периоды 2016–2017 гг. Измерение γ -фона проводили поисковым радиометром СРП-68-01 и многофункциональным широкодиапазонным профессиональным дозиметром ДРГ-01Т1. Выбор контрольных и радиоактивно-загрязненных агробиоценозов осуществлен по мощности эквивалентной дозы (МАЭД).

В контрольном аграрном ландшафте исследовано 5 сенокосно-пастбищных агробиоценозов, общая площадь 1530 га (469 точек гамма-съемки). В 1-м тестовом аграрном ландшафте проведено исследование 8 сенокосно-пастбищных агробиоценозов (224 точки гамма-съемки), общая площадь 190,7 га. Во 2-м тестовом аграрном ландшафте исследовано 8 сенокосно-пастбищных агробиоценозов, общая площадь гамма-съемки 188,3 га (238 точек гамма-съемки). Пробы почвы на выбранных участках отбирали в пяти точках методом «конверта», а также в местах с наибольшими значениями гамма-фона. Пробы отбирали на глубине 5 см, в центре «конверта» отбор выполнен до глубины 30 см, с послойным отбором 10-см проб. Пробы упаковывались в двойной полиэтиленовый пакет и снабжались сопроводительным талоном. Удельная активность ^{137}Cs в почвах определена

методом гамма-спектрометрии в геометрии сосуда Маринели в течение 3 600 с на гамма-спектрометрах «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С». Статистическая обработка цифрового материала проведена методом вариационной статистики с помощью прикладных программ MS Excel 2007. Различия параметров считали достоверными при $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Агрохимическая характеристика почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов аграрных ландшафтов представлена в таблице 1. Значения pH, гумуса, кальция, калия и фосфора в почвах аграрных ландшафтов с разной техногенной нагрузкой находились в одном диапазоне изменчивости и соответствовали литературным данным, характеризующим почвы Красноярского края [12, 13].

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв аграрных ландшафтов

Показатель	Контрольный	Тестовый № 1	Тестовый № 2
	n = 10		
pH	6,83±0,1	6,60±0,1	7,07±0,2
Гумус, %	6,89±1,6	5,71±0,1	3,72±0,6
Кальций, мг/кг	9730,50±1043,8	7323,00±557,9	11134,30±352,9
Калий валовый, мг/кг	7983,23±282,6	6071,53±133,7	5044,30±232,8
Калий подвижный, мг/кг	76,30±4,8	103,84±12,1	99,09±13,7
Фосфор валовый, мг/кг	600,20±19,4	539,94±24,4	561,19±39,8
Фосфор подвижный, мг/кг	95,60±11,1	147,82±14,3	117,57±11,3

На основании вышеприведенных результатов можно ожидать равнозначное накопление ^{137}Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы и идентичной миграционной активности Cs в тестируемых почвах. Почвы агробиоценозов тестируемых аграрных ландшафтов относились к одному типу и обладали близкими характеристиками механического состава, содержанием гумуса, кальция, фосфора, калия и pH, соответственно ожидалась схожая миграционная активность ^{137}Cs .

Значение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-фона во всех аграрных ландшафтах находится в диапазоне значений, типичных для территории Красноярского края (табл. 2). В результате можно заключить, что тестовые аграрные ландшафты не являются аномальными по уровню МАЭД, хотя полученные данные по этим аграрным ландшафтам значительно выше (установлено с доверительной вероятностью $P < 0,001$), чем в контрольном аграрном ландшафте.

Таблица 2

Результаты радиозкологического обследования аграрных ландшафтов

Показатель	Контрольный	Тестовый № 1	Тестовый № 2
Общая площадь гамма-съемки, га	1530	190,7	188,3
Количество точек гамма-съемки	469	238	224
МАЭД, нЗв/ч	10,5±0,1	18,9±0,4***	17,1±0,4***
Удельная активность ^{137}Cs в почвах, Бк/кг	6,4±1,9	284 ±36***	121±19***
Плотность загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ²	0,04	1,84	0,78

*** $P < 0,001$ по отношению к контрольному аграрному ландшафту.

В наших исследованиях значение гамма-фона в контрольном аграрном ландшафте составило $10,5 \pm 0,06$ нЗв/ч, что согласуется с данными Т.И. Матвеевко (2006) [14], который определил, что значение гамма-фона на юге Хабаровского края составляет 9–13 мкР/ч. Таким образом, значения гамма-фона до 14 мР/ч характеризуют

глобальный техногенный фон, уровень которого имеет однозначное числовое выражение на всей территории РФ. В то же время нами установлено, что в тестовых аграрных ландшафтах значение гамма-фона составило 17,1–18,9 нЗв/ч, что превышает значения фонового глобального техногенного загрязнения.

В результате исследования почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов тестируемых аграрных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края установлено, что удельная активность ^{137}Cs 1-го тестового аграрного ландшафта в 19 раз, 2-го тестового ландшафта в 8 раз превышает аналогичный показатель для почв контрольного аграрного ландшафта ($P < 0,001$) (см. табл. 2). Значение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта входило в диапазон средних значений, характерных для центральных районов Красноярского края, – 1,2–38,1 Бк/кг [5].

Значение концентрации ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов тестовых аграрных ландшафтов превышает средние значения по Красноярскому краю, на основании региональных нормативов «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края» эти значения относятся к уровню «регистрации» [15].

Оценка радиоэкологической обстановки аграрных ландшафтов проводилась на основе определения площадной активности. Площадная активность определялась на основании средних значений концентрации ^{137}Cs , по формуле $P=2,7 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot d \cdot h$ где a – удельная ак-

тивность пробы Бк/кг; d – вес пробы; h – высота слоя отбора пробы.

В результате расчета установлено, что в контрольном аграрном ландшафте площадная активность составила 0,04 Ки/км², это значение соответствует диапазону данных, характеризующих техногенное загрязнение почв всего Красноярского края (среднее фоновое значение 0,08 Ки/км²). В 1-м тестовом аграрном ландшафте плотность загрязнения составила 1,84 Ки/км², во 2-м – 0,78 Ки/км². Плотность загрязнения ^{137}Cs в 1-м тестовом в 46 раз, во 2-м тестовом ландшафте в 19 раз выше, чем в контрольном ($P < 0,001$), однако установленные значения не превышают значения нормативных документов РФ [16]. На основании критерия оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия экологическую обстановку в агробиоценозах тестовых аграрных ландшафтов можно отнести к «относительно удовлетворительной».

Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов исследовано на глубине 40 см слоя, полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах, Бк/кг

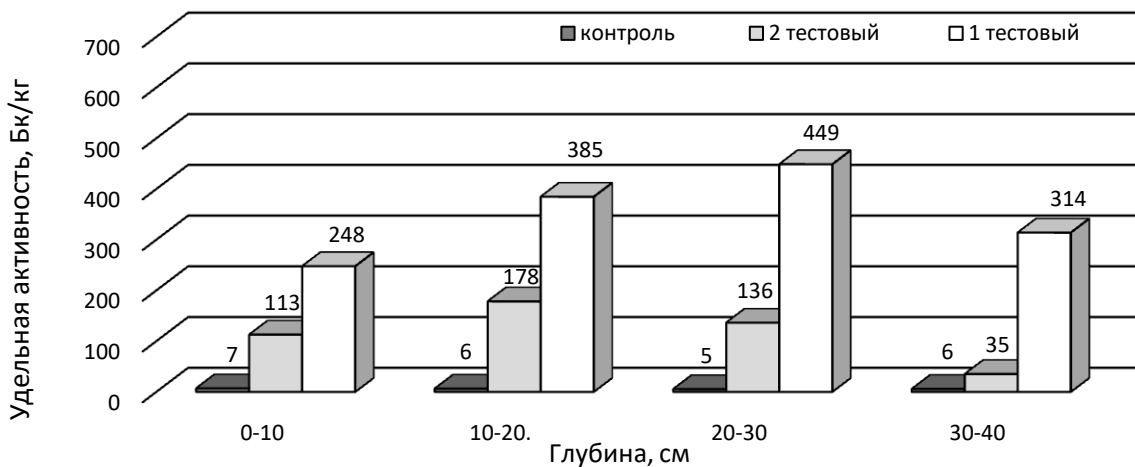
Глубина по профилю почвы, см	Контрольный	Тестовый № 1	Тестовый № 2
0–10	6,9±0,5	247,6±25,6***	112,6±17,0***
10–20	6,2±0,8	384,5±142,6*	178,3±62,5*
20–30	5,4±0,3	448,6±171,7*	136,2±55,8*
30–40	5,6±1,2	313,9±53,4**	35,0±7,6*

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по отношению к контрольному аграрному ландшафту.

Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах агробиоценозов в тестовых аграрных ландшафтах свидетельствует о преимущественном накоплении техногенных радионуклидов в 10–20 см слое почвы. По данным, полученным на территориях, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС [17], загрязнение в основном находится в верхнем 10 см слое. В тестовых аграрных ландшафтах произошло за-
глубление ^{137}Cs .

Распределение ^{137}Cs по вертикали в почве сенокосных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта соответствует распределению при глобальном техногенном загрязнении.

Удельная активность верхнего 10 см слоя почвы в тестовых аграрных ландшафтах достоверно ($P < 0,001$) превышает аналогичную в контрольном ландшафте. Основная концентрация ^{137}Cs сосредоточена на глубине 10–30 см, значение удельной активности ^{137}Cs в тестовых аграрных ландшафтах достоверно ($P < 0,05$) выше, чем в контрольном. Значительная величина ошибки объясняется наличием агробиоценозов с разной степенью загрязнения (агробиоценозы, находящиеся в пойме реки Енисей и на высокой надпойменной террасе). Динамика вертикального распределения ^{137}Cs по профилю чернозема обыкновенного представлена на рисунке.



Удельная активность ^{137}Cs по глубине почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов аграрных ландшафтов

Распределение результатов определения ^{137}Cs в профиле почвы по вертикали тестовых аграрных ландшафтов имеет вид логарифмически-нормального распределения, в контрольном ландшафте – вид гамма-распределения. Значение удельной активности ^{137}Cs и характер вертикального распределения ^{137}Cs по профилю почвы подтверждают предположение о наличии дополнительного техногенного загрязнения почв тестовых аграрных ландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

По данным ученых, 60–75 % ^{137}Cs в почвах агробиоценозов находится в верхних слоях почвы на глубине 10–20 см [18–21]. В наших исследованиях вертикальной миграции ^{137}Cs по профилю почвы в контрольном аграрном ландшафте установлено, что на глубине до 20 см сосредоточено 54 % ^{137}Cs , остальные 46 % равномерно распределены на глубине 20–40 см. Полученные результаты доказывают присутствие в контрольном аграрном ландшафте только глобального техногенного загрязнения.

По данным ряда исследователей, глубина миграции ^{137}Cs по профилю почвы в Брянской области составляет 65 см [18], Белгородской области – 40 см [22], очевидно, это связано с уровнем загрязнения почв в результате аварии на ЧАЭС. В наших исследованиях установлено, что в зоне наблюдения ФГУП «Горнохимический комбинат» глубина миграции ^{137}Cs в почвах агробиоценозов с дополнительной техногенной нагрузкой составляет 40 см, что подтверждает предположение о загрязнении некоторых территорий в результате предыдущей деятельности предприятия.

Заключение. В результате работы установлено, что в контрольном аграрном ландшафте лесостепной зоны Красноярского края, имеющем глобальное техногенное загрязнение, МАЭД составляла $10,5 \pm 0,1$ нЗв/ч, удельная активность ^{137}Cs в почвах $6,4 \pm 1,9$ Бк/кг, что обусловило плотность загрязнения ^{137}Cs в $0,04$ Ки/км². Цифровые данные радиэкологического тестирования контрольного аграрного ландшафта (п. Борск Сухобузимского района) подтверждают наличие фонового глобального техногенного загрязнения и свидетельствуют о радиационном благополучии этого аграрного ландшафта.

На территории Красноярского края имеются участки с локальным радиоактивным техногенным загрязнением. В работе установлены аграрные ландшафты, имеющие дополнительное радиоактивное техногенное загрязнение: с. Момотово Казачинского района и с. Большой Балчуг Сухобузимского района. В этих аграрных ландшафтах установлено превышение значений МАЭД и концентрации ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов. Однако, согласно нормативному документу «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края», на выделенной территории не требуется постоянный дозиметрический мониторинг.

По итогам расчета площадной активности выявлено, что в аграрных ландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением плотность загрязнения ^{137}Cs составила $0,78–1,84$ Ки/км². Хотя установленные значения плотности ^{137}Cs в почвах не превышают значения критерия оценки экологической обстановки территорий для выяв-

ления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, экологическая обстановка в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой оценивается как относительно удовлетворительная.

В почве аграрных ландшафтов с антропогенным загрязнением ^{137}Cs преимущественно находится в 10–20 см слое. Концентрация ^{137}Cs и характер вертикального распределения ^{137}Cs по профилю почвы подтверждают предположение о наличии дополнительного техногенного загрязнения в результате предыдущей деятельности ФГУП «ГХК».

Список источников

1. Анненков Б.Н. Радиационные катастрофы: последствия и контрмеры в сельском хозяйстве. М.: Санэпидмедиа, 2008. 372 с.
2. Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В. Оценка воздействия радиационных выбросов на биоту // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 6. С. 575–582.
3. Радиационно-экологический мониторинг агроэкосистем в районе Белоярской АЭС / А.В. Панов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 3. С. 146–157.
4. Deposition of ^{137}Cs and precipitation distribution in Vojvodina, Northern Serbia after the Chernobyl accident / S.K. Kalkana [et al.] // Chemosphere 2021. Vol. 264, Part 2, February. 128471. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128471.
5. Атлас современной радиационной обстановки на территории Красноярского края / М-во экологии и рационального природопользования Красноярского края. Красноярск, 2019. 84 с.
6. Сухоруков Ф.В. Закономерности распределения радионуклидов в долине реки Енисей. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 286 с.
7. 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.
8. Оценка дозы и экологического риска для объектов биоты в районе расположения Горно-химического комбината / А.А. Бурякова [и др.] // Радиационная биология. Радиозэкология. 2020. Т. 60, № 6. С. 661–670. DOI: 10.31857/S0869803120060156.
9. 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.
10. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиозэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. М.: ВНИИСХРАЭ, 2000. 28 с.
11. Федотова А.С. Миграционная способность техногенных радионуклидов в агробиоценозах лесостепной зоны Красноярского края: монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2017. 138 с.
12. Танделов Ю.П. Черноземы Красноярского края и проблема известкования. Красноярск, 2005. 20 с.
13. Кураченко Н.Л. Агрофизическое состояние почв Красноярской лесостепи: монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2013. 194 с.
14. Матвеевко Т.И. Динамика накопления радионуклидов в почвенном покрове юга Хабаровского края // Научный журнал КубГАУ. 2006. Вып. № 21. С. 1–21. URL: <http://ej.kubagro.ru>.
15. Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края: региональные нормативы качества окружающей среды, утверждены Постановлением Правительства Красноярского края № 670-п от 18.12.2012. Красноярск, 2013.
16. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: утв. министром охраны окружающей среды и природных ресурсов 30.11.1992 / Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов. М., 1992. 58 с.
17. Потребность в ферроцинсодержащих препаратах для производства молока и мяса,

- соответствующего санитарно-гигиеническим нормативам, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / О.С. Губарева [и др.] // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (68). С. 46–51.
18. Стародубов А.В. Особенности миграции техногенных радионуклидов в загрязненных ландшафтах Брянской области // Разведка и охрана недр. 2005. № 4. С. 73–75.
 19. Кочиш И.И. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах луговых агроценозов Шатурского района Московской области // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2014. № 6. С. 36–40.
 20. Неганова, К.С. Особенности распределения радионуклидов в аллювиальных почвах Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. С. 131–135.
 21. Мирошников А.Ю. Радиальное и латеральное распределение цезия-137 в почвах фоновых ландшафтов степей юга Западной Сибири // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. С. 547–551.
 22. Лукин С.В. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2012. Т. 21, Вып. 21. С. 154–159.
 5. Atlas современной радиационной обстановки на территории Красноярского края / М-во `экологии и рационального природопользования Красноярского края. Красноярск, 2019. 84 с.
 6. Suhorukov F.V. Zakonomernosti raspredeleniya radionuklidov v doline reki Enisej. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. 286 s.
 7. 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.
 8. Ocenka dozy i `ekologicheskogo riska dlya ob`ektov bioty v rajone raspolozheniya Gornohimicheskogo kombinata / A.A. Buryakova [i dr.] // Radiacionnaya biologiya. Radio`ekologiya. 2020. T. 60, № 6. S 661–670. DOI: 10.31857/S0869803120060156.
 9. 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 – Gornohimicheskogo kombinata, g. Krasnoyarsk // Radiacionnaya gigiena. 2018. T 11, № 3. S. 22–29. DOI: 10.21514/1998-426H-2018-11-3-22-29.
 10. MU 13.5.13-00. Organizaciya gosudarstvennogo radio`ekologicheskogo monitoringa agro`ekosistem v zone vozdeystviya radiacionno-opasnyh ob`ektov. M.: VNIISHRA`E, 2000. 28 s.

References

1. Annenkov B.N. Radiacionnye katastrofy: posledstviya i kontrmery v sel'skom hozyajstve. M.: San`epidmedia, 2008. 372 s.
2. Perevolockij A.N., Perevolockaya T.V. Ocenka vozdeystviya radiacionnyh vybrosov na biotu // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2020. T. 90, № 6. S. 575–582.
3. Radiacionno-`ekologicheskij monitoring agro`ekosistem v rajone Beloyarskoj A`ES / A.V. Panov [i dr.] // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2021. T. 332, № 3. S. 146–157.
4. Deposition of ^{137}Cs and precipitation distribution in Vojvodina, Northern Serbia after the Chernobyl accident / S.K. Kalkana [et al.] // Chemosphere 2021. Vol. 264, Part 2, February. 128471. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128471.
11. Fedotova A.S. Migracionnaya sposobnost' tehnoгенных радионуклидов в агробиоценозах лесостепной зоны Красноярского края: monografiya / Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2017. 138 s.
12. Tandelov Yu.P. Chernozemy Krasnoyarskogo kraja i problema izvestkovaniya. Krasnoyarsk, 2005. 20 s.
13. Kurachenko N.L. Agrofizicheskoe sostoyanie pochv Krasnoyarskoj lesostepi: monografiya / Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2013. 194 s.
14. Matveenko T.I. Dinamika nakopleniya radionuklidov v pochvennom pokrove yuga Habarovskogo kraja // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2006. Vyp. № 21. S. 1–21. URL: <http://ej.kubagro.ru>.
15. Dopustimye znacheniya radiacionnogo zagryazneniya prirodnoj sredy na territorii

- Krasnoyarskogo kraja: regional'nye normativy kachestva okruzhayushej sredy, utverzhdeny Postanovleniem Pravitel'stva Krasnoyarskogo kraja № 670-р от 18.12.2012. Krasnoyarsk, 2013.
16. Kriterii ocenki `ekologicheskoy obstanovki territorij dlya vyyavleniya zon chrezvychajnoj `ekologicheskoy situacii i zon `ekologicheskogo bedstviya: utv. ministrom ohrany okruzhayushej sredy i prirodnyh resursov 30.11.1992 / Ministerstvo ohrany okruzhayushej sredy i prirodnyh resursov. M., 1992. 58 s.
 17. Potrebnost' v ferrocinsoderzhaschih preparatah dlya proizvodstva moloka i myasa, sootvetstvuyushego sanitarno-gigienicheskim normativam, v otdalennyj period posle avarii na Chernobyl'skoj A`ES / O.S. Gubareva [i dr.] // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2018. № 4 (68). S. 46–51.
 18. Starodubov A.V. Osobennosti migracii tehno-gennyh radionuklidov v zagryaznennyh land-shaftah Bryanskoj oblasti // Razvedka i ohrana neдр. 2005. № 4. S. 73–75.
 19. Kochish I.I. Osobennosti vertikal'nogo raspredeleniya radionuklidov v pochvah lugovyh agrocenozov Shaturskogo rajona Moskovskoj oblasti // Veterinariya, zootehniya i biotekhnologiya. 2014. № 6. S. 36–40.
 20. Neganova, K.S. Osobennosti raspredeleniya radionuklidov v allyuvial'nyh pochvah Severnogo Kavkaza // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 12. S. 131–135.
 21. Miroshnikov A.Yu. Radial'noe i lateral'noe raspredelenie ceziya-137 v pochvah fonovyh landshaftov stepej yuga Zapadnoj Sibiri // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 12. S. 547–551.
 22. Lukin S.V. 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.

Статья принята к публикации 10.04.2023 / The article accepted for publication 10.04.2023.

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

