

ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}CS ГОЛУБИКОЙ ВЫСОКОРОСЛОЙ (*VACCINIUM CORUMBOSUM* L.)

А.В. Ермоленко¹, кандидат сельскохозяйственных наук,

Н.Н. Цыбулько², доктор сельскохозяйственных наук,

Д.В. Киселева¹, кандидат сельскохозяйственных наук,

И.И. Жукова³, кандидат сельскохозяйственных наук

¹МГУ имени А.А. Кулешова

г. Могилев, Беларусь

²РУП «Институт почвоведения и агрохимии»

г. Минск, Беларусь

³БГПУ имени М. Танка

г. Минск, Беларусь

Аннотация

В статье представлены результаты двухлетнего исследования, посвященного изучению аккумуляции ^{137}Cs плодами голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) среднеспелого сорта Bluecrop, при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве. При плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 6 Ки/км² удельная активность радионуклида в ягодах культуры в зависимости от варианта опыта находится в диапазоне от 26,0 до 43,1 Бк/кг. Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в плоды голубики высокорослой изменялись в пределах от 0,117 до 0,213 Бк/кг:кБк/м².

Ключевые слова: голубика высокорослая, ^{137}Cs , ягоды голубики, удельная активность, коэффициент перехода

Abstract

A.V. Ermolenko, N.N. Tsybulko, D.V. Kiseleva,

I.I. Zhukova

PARAMETERS OF ^{137}CS ACCUMULATION BY TALL BLUEBERRY (*VACCINIUM CORUMBOSUM* L.)

The article presents the results of a two-year study on the accumulation of ^{137}Cs in blueberry fruits tall (*Vaccinium corymbosum* L.) of medium-grade Bluecrop cultivated on sod-podzolic sandy soil. If soil contamination density of ^{137}Cs is 6 Ki/km², the specific activity of radionuclide in the berries, depending on the variant of the experiment, is in the range from 26.0 to 43.1 Bq/kg. ^{137}Cs transition coefficients from soil to blueberries of high-growth varied from 0.117 to 0.213 Bq/kg:kBq / m².

Key words: tall blueberry, ^{137}Cs , blueberry fruit, specific activity, the transition rate

Введение

С момента аварии на Чернобыльской АЭС прошло более 30 лет, однако радиоактивное загрязнение территории Беларуси все еще остается масштабным, а почвы по-прежнему являются источником поступления радионуклидов в пищевые цепи. По состоянию на 2017 год в республике загрязненными ^{137}Cs (плотность загрязнения более 1 Ки/км²) были 903,1 тыс. га сельскохозяйственных земель и 1652,4 тыс. га земель лесного фонда [1]. Наибольшими площадями загрязнения характеризовались Гомельская и Могилевская области, на территории которых сосредоточено более 87 % всех загрязненных сельскохозяйственных земель и свыше 90 % земель лесного фонда республики.

В Беларуси разработаны рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения [2], соблюдение которых в целом решило проблему получения продукции растениеводства с содержанием ^{137}Cs в пределах допустимых норм по основным сельскохозяйственным растениям, возделываемым в республике.

Культура голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) сформировалась в Северной Америке в начале XX века. Благодаря уникальной пищевой и диетической ценности ягод, их высокой урожайности и рентабельности производства голубика высокорослая по росту площадей посадок и сбору урожая за последние десятилетия стала среди ягодных культур мировым трендом. На территорию Беларуси го-

лубика высокорослая попала в начале 80-х годов прошлого столетия, а ее активное распространение в стране началось с конца 90-х годов [3]. Процесс увеличения площадей под культурой в республике продолжается до сих пор как за счет хозяйств-производителей сельскохозяйственной продукции, так и садоводов любителей. Не редко плантации голубики размещаются на выработанных торфяниках с целью их рекультивации.

В Беларуси проведен ряд исследований, касающихся различных аспектов возделывания голубики высокорослой [4-7], разработан отраслевой регламент по выращиванию культуры [8]. Однако вопрос о накоплении растениями голубики радионуклидов практически не изучен. Единичные научные работы по данному направлению [9], осуществленные на территории Беларуси еще в первое десятилетие после чернобыльской аварии, не позволяют научно обосновать возможность гарантированного получения ягодной продукции без превышения республиканских допустимых уровней (РДУ-99) по содержанию ^{137}Cs . Этот факт на данный момент является препятствием для продвижения голубики высокорослой на территорию районов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Стоит отметить, что дикорастущие местные виды семейства брусничных (*Vacciniaceae* S.F. Gray), к которому относят и голубику высокорослую, такие как черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), голубика топяная (*Vaccinium uliginosum* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), характеризуются высокими переходами ^{137}Cs из почвы в растения. Даже при небольшой плотности загрязнения в зависимости от почвенно-экологических условий содержание радиоцезия в ягодной продукции этих растений может значительно варьировать и часто превышает установленный предельно допустимый уровень для использования в пищу. Поэтому Правилами ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, сбор дикорастущих ягод ограничен плотностью загрязнения почв ^{137}Cs в лесных кварталах 2 Ки/км², при обязательном радиометрическом контроле [10].

Цель исследования – установить параметры перехода ^{137}Cs из почвы в плоды голубики высокорослой при разном уровне минерального питания.

Основная часть

Исследования проводили в 2016-2017 годах методом полевого опыта на экспериментальном участке, расположенном в н.п. Гиженка Славгородского района, и методом вегетационного опыта в н.п. Любуж Могилевского района Могилевской области на территории агробиологической станции МГУ имени А.А. Кулешова. Возделывали средне-спелый сорт голубики высокорослой Блюкроп (Bluecrop) [11].

Полевой опыт был заложен в 2012 году на экспериментальном участке с дерново-подзолистой супесчаной почвой. Растения голубики высаживались двухлетними саженцами в посадочные ямы размером 60×70×50 см, которые заполняли смесью гумусового горизонта имеющейся почвы и верхового торфа в соотношении 1:1. Агрохимические показатели почвы корнеобитаемого слоя следующие: подвижные формы калия – 103,5 мг/кг, фосфора – 105,1 мг/кг, содержание $C_{\text{орг}}$ 5,8 %, pH_{KCL} 5,3. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 6 Ки/км² (225,7 кБк/кг). Схема посадки растений 3,0×1,0 м. Поверхность почвы вокруг саженца мульчировали опилками деревьев хвойных пород, слоем 8–10 см. Последующие уходные работы за растениями проводили в соответствии с принятыми организационно-технологическими нормативам [8]. Минеральные удобрения (сульфат аммония, сульфат калия, суперфосфат) вносили в приствольные полосы на ширину, соответствующую диаметру кустов с последующей заделкой. Схема опыта включала следующие варианты применения минеральных удобрений: 1. Контроль (без удобрений); 2. $P_{60}K_{60}$; 3. $N_{60}P_{60}K_{60}$; 4. $N_{90}P_{60}K_{60}$; 5. $N_{90}P_{60}K_{90}$. Повторность опыта четырехкратная, расположение вариантов рендомизированное.

В вегетационном опыте растения 3-х летнего возраста высаживали в сосуды объемом 12 литров. Сосуды заполняли субстратом на основе дерново-подзолистой супесчаной почвы и торфа в соотношении 1:1. Агрохимические показатели почвосмеси следующие: подвижные формы калия – 100 мг/кг, фосфора – 156 мг/кг, содержание $C_{\text{орг}}$ 6,8 %, pH_{KCL} 4,3. Удельная активность полученного субстрата составила 3253 Бк/кг. Минеральные удобрения вносили в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. Применяли те же виды удобрений, что и в полевом опыте. Поверхность почвы мульчировали опилками. Повторность опыта 5 кратная.

Удельная активность ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах определялась на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315. Спектрометр обеспечивает регистрацию минимальной активности 2,0 Бк/кг (Бк/л) по ^{137}Cs .

Экспериментальная работа осуществлена в рамках выполнения задания подпрограммы «Радиация и природные системы» государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Природопользование и экология» на 2016–2020 годы.

Метеорологические условия вегетационных периодов 2016 и 2017 гг., в которых проводились исследования, несколько отличались. Средняя температура воздуха за вегетационный период 2016 года превышала среднемноголетние значения в зависимости от месяца на 1,5–3,3 °С, а количество осадков было меньше на 47 мм. Вегетационный период 2017 года по температурному режиму незначительно отличался от среднемноголетних данных, а по количеству осадков превышал их на 72 мм. Таким образом, можно предположить, что вегетационный период 2016 года по влагообеспечению растений голубики был в меньшей степени благоприятен для ее роста и развития по сравнению с 2017 годом.

Удельная активность (УА) ^{137}Cs в продуктах питания является одним из критериев их пригодности в пищу. Согласно РДУ-99 УА ^{137}Cs в садовых ягодах, к которым относят и плоды голубики высокорослой, при использовании их в пищу в свежем виде не должна превышать 70 Бк/кг. Проведенные в 2016 году полевые исследования показали, что УА радионуклида в ягодах голубики в условиях эксперимента находится ниже предельного значения. В зависимости от варианта опыта УА ^{137}Cs колебалась от 26,0 до 36,8 Бк/кг, и лишь отдельные пробы превышали 50 Бк/кг.

В разрезе доз минеральных удобрений УА ^{137}Cs в плодовой продукции голубики несколько различалась. Максимальное значение показателя зафиксировано в контрольном варианте, где не применялись удобрения – 36,8 Бк/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений активность радионуклида в пробах была меньшей, чем в контроле. Минимальное значение УА (26,0 Бк/кг) отмечено в случае применения только фосфорных и калийных удобрений. Добавление к фосфорно-калийному фону азот-

ного удобрения во всех случаях вызывало тенденцию к росту накопления радионуклида в ягодах голубики. В вариантах $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ и $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ УА радиоцезия в плодах культуры была 29,9 и 27,2 Бк/кг соответственно. При внесении максимальной в опыте дозы азотных удобрений совместно с увеличенной дозой калийных (вариант $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$) значение исследуемого показателя приблизилось к его значению в контроле и составило 36,4 Бк/кг (рисунок 1).

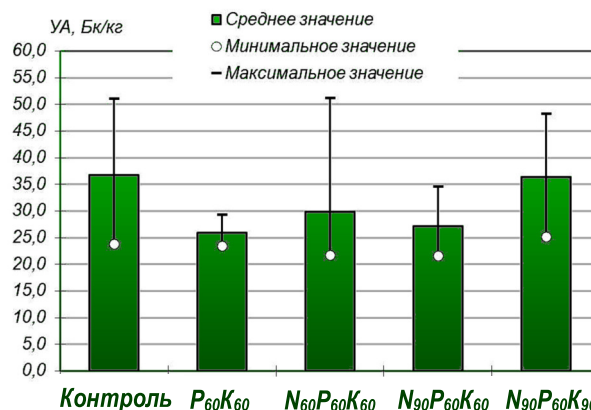


Рисунок 1. – Удельная активность ^{137}Cs в ягодах голубики высокорослой в 2016 году, Бк/кг

Полученные результаты исследования в 2017 году были в целом схожи с данными, полученными по итогам предыдущего вегетационного периода. Удельная активность ^{137}Cs в ягодах в зависимости от дозы внесенного удобрения колебалась от 33,2 до 43,1 Бк/кг (рисунок 2).

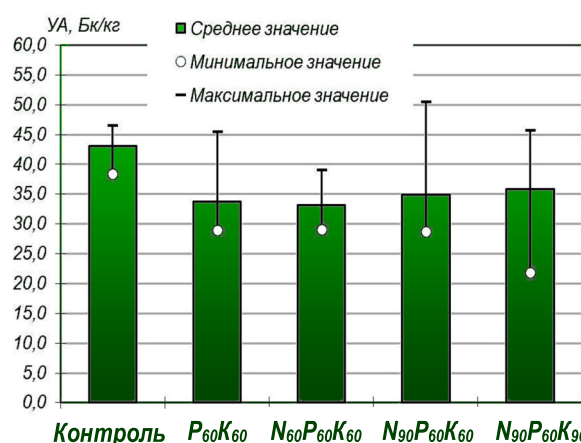


Рисунок 2. – Удельная активность ^{137}Cs в ягодах голубики высокорослой в 2017 году, Бк/кг

Максимальное значение удельной активности ^{137}Cs отмечено в плодах голубики полученных в контрольном варианте (без внесения удобрений) –

43,1 Бк/кг. Снижение активности до 33,8 Бк/кг относительно контроля в плодах произошло при совместном применении фосфорных и калийных удобрений. Разница между значениями составила 21,7 %. На этом же уровне была активность радионуклида при возделывании голубики с внесением под растения полного удобрения с наименьшими в опыте дозами. Применение полного минерального удобрения, но с увеличением дозы одного из компонентов так же способствовали снижению значений УА относительно случая без их использования, однако в меньшей степени. Вместе с тем, по сравнению с вариантом P₆₀K₆₀ при увеличении дозы азотных удобрений с 60 кг на гектар действующего вещества (д.в.) до 90 кг д.в. наблюдалась тенденция к росту значений УА ¹³⁷Cs. Аналогичная картина отмечена и при увеличении дозы калийных удобрений.

В среднем по полевому опыту УА ¹³⁷Cs в ягодах голубики высокорослой, выращенной 2016 году, составила 31,5 Бк/кг, в 2017 году – 36,2 Бк/кг.

Результаты вегетационного эксперимента с голубикой, проведенного в 2017, также не выявили превышений предельно допустимого УА ¹³⁷Cs в плодах обозначенного РДУ-99. В этом случае активность радионуклида составила 44,8 Бк/кг.

Для оценки особенностей миграции радионуклида в системе «почва–растение», а также прогноза его накопления в растениях служит коэффициент перехода (Кп). В условиях проведенного эксперимента значения Кп ¹³⁷Cs в ягоды голубики высокорослой из дерново-подзолистой супесчаной почвы в 2016 году в зависимости от варианта опыта колебались от 0,117 до 178 Бк/кг:кБк/м².

Изменения показателя на фоне вариантов внесения удобрений имели схожий характер с УА радионуклида в плодах. Прослеживалась та же тенденция: максимальный переход радионуклида отмечен в контрольном варианте (без удобрений) 0,178 Бк/кг:кБк/м², снижение Кп до 0,117 Бк/кг:кБк/м² произошло при внесении фосфорных и калийных удобрений, а при внесении полного минерального удобрения с возрастающими дозами азота коэффициент вновь приближался к значению, полученному в контрольном варианте (таблица 1).

В 2017 году Кп радиоцезия из почвы в плоды голубики высокорослой по вариантам внесения минеральных удобрений находились в интервале

Таблица 1. – Коэффициенты перехода ¹³⁷Cs в ягоды голубики высокорослой из дерново-подзолистой супесчаной почвы, Бк/кг:кБк/м² ± стандартное отклонение

Вариант опыта	2016 год	2017 год
Контроль	0,178±0,076	0,213±0,025
P ₆₀ K ₆₀	0,117±0,022	0,143±0,038
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,143±0,072	0,139±0,027
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,130±0,032	0,157±0,045
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,168±0,065	0,163±0,028
P-значение	>0,05	<0,05

0,139–0,213 Бк/кг:кБк/м². Прослеживались те же тенденции, отмеченные с значениями удельной активности: максимальный Кп радионуклида был в контрольном варианте (без удобрений) 0,213 Бк/кг:кБк/м², снижение до 0,143 Бк/кг:кБк/м² (или до 33 %) произошло при применении фосфорных и калийных удобрений. При внесении полного минерального удобрения с возрастающими дозами азота значения Кп ¹³⁷Cs вновь приблизились к контрольному варианту. Если в варианте с наименьшей дозой азота Кп составил 0,139 Бк/кг:кБк/м² (снижение относительно контроля 34,6 %), то с дозой азота 90 д.в. на гектар значение показателя возрастало в зависимости от дозы калийных удобрений до 0,157–0,163 Бк/кг:кБк/м² (снижение 25,5–23,6 %). Существенных изменений Кп при увеличении дозы калийного удобрения не отмечено.

В среднем по полевому опыту Кп ¹³⁷Cs в ягодах голубики высокорослой, выращенной 2016 году составил 0,147 Бк/кг, в 2017 году – 0,163 Бк/кг.

Основной задачей при выращивании сельскохозяйственных культур на загрязненных землях является получение продукции с содержанием радионуклидов в пределах допустимых уровней. На основании полученных Кп нами были рассчитаны предельно допустимые значения плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы ¹³⁷Cs, при которой возможно производство ягод голубики высокорослой с удельной активностью радионуклида менее 70 Бк/кг.

Полученные результаты указывают на то, что искомый показатель в зависимости от года исследования и внесения минеральных удобрений находится в диапазоне от 8,9 до 16,1 Ки/км². Выращивание го-

лубики высокорослой с применением минеральных удобрений позволяет получать ягодную продукцию с содержанием радионуклида в пределах РДУ-99 с участков, имеющих большее загрязнение почв ^{137}Cs , чем без их использования. Увеличение доз азотных и калийных удобрений может ограничивать возможность получения нормативно чистых ягод культуры зоной с меньшим загрязнением почв радионуклидом (таблица 2).

Таблица 2. – Предельные плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы ^{137}Cs для производства нормативно чистых ягод голубики высокорослой, Ки/км²

Вариант опыта	2016 год	2017 год	Среднее
Контроль	10,7	8,9	9,8
P ₆₀ K ₆₀	16,1	13,2	14,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	13,2	13,6	13,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	14,6	12,1	13,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	11,2	11,6	11,4
Среднее	13,2	11,9	12,6

Поступление радионуклидов в растения зависит от множества факторов [12, 13]. Возделывание голубики высокорослой на почвах с содержанием радионуклида меньше рассчитанной нами предельной допустимой величины загрязнения почв ^{137}Cs не дает полной гарантии получения нормативно чистой ягодной продукции. Об этом свидетельствуют различия значений по годам. Но при приближении плотности загрязнения к расчетной предельной для культуры величине вероятность превышения содержания радионуклида в продукции норм РДУ-99 возрастает. Тем не менее наши исследования указывают на то,

что при возделывании голубики высокорослой на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs 6 Ки/км² ягоды культуры по содержанию в них радионуклида не превышают РДУ-99. Данный факт позволяет дать оптимистичный прогноз по развитию голубиководства на загрязненных ^{137}Cs почвах.

Заключение

В ходе исследований установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве с содержанием в пахотном горизонте подвижных форм калия 103,5 мг/кг, фосфора 105,1 мг/кг, с содержанием органического вещества 5,8%, рН_{КСЛ} 5,3, при плотности загрязнения ^{137}Cs 6 Ки/км² удельная активность ^{137}Cs в плодах голубики высокорослой не превышает 43,1 Бк/кг.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в плоды в зависимости от варианта внесения удобрений колебались от 0,117 до 0,178 Бк/кг:кБк/м² в 2016 году и от 0,139 до 0,213 Бк/кг:кБк/м² в 2017 году.

При внесении минеральных удобрений прослеживается тенденция: максимальное поступление ^{137}Cs отмечается в контрольном варианте (без удобрений), некоторое снижение поступления происходит при внесении фосфорных и калийных удобрений, при внесении полного минерального удобрения с возрастающими дозами азота поступление радионуклида вновь приближается к контрольному варианту.

Предельно допустимые значения плотности загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы ^{137}Cs , при которой возможно производство ягод голубики высокорослой с удельной активностью радионуклида менее 70 Бк/кг (РДУ-99) при внесении под культуру полного минерального удобрения в зависимости от варианта опыта находится в диапазоне от 11,4 до 13,4 Ки/км².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; ред. кол. И.В. Медведева [и др.]. – Минск, 2017. – 235 с.
2. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС РБ, М-во с.-х. и прод. Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – 122 с.
3. Титок, В.В. Голубика высокорослая – инновационная культура премиумкласса / В.В. Титок, А.А. Веевник, Н.Б. Павловский // Голубиководство в Беларуси итоги и перспективы : материалы Респ. науч.-практ.

конф.; 17 авг. 2012 г.; Минск / Центральный ботанический сад НАН Беларуси, ред.кол. : Титок В.В. и др. - Минск, 2012. – С. 5-8.

4. Голубика высокорослая: оценка адаптационного потенциала при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] ; под ред. В.И. Парфенова. – Минск : Беларус. наука, 2007. – 442 с.

5. Ермоленко, А.В. Сортовые особенности сроков созревания и урожайности ягод голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) в условиях восточной части Беларуси / А.В. Ермоленко, А.Д. Сивцова, Н.В. Костина // Вестник БГСХА. – 2017. – №2. – С. 25-29.

6. Решетников, И.Н. Некоторые аспекты микрклонального размножения голубики высокой и брусники обыкновенной / В.Н. Решетников, Т.В. Антипова, В.Л. Филипена // Плодоводство. – 2007. – Т. 19. – С. 209-219.

7. Павловский, Н.Б. Влияние температурного режима на урожайность сортов голубики высокой (*vaccinium corymbosum*), интродуцированных в белорусском Полесье / Н.Б. Павловский // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2010. – № 3. – С. 13-18.

8. Павловский, Н.Б. Возделывание голубики высокорослой / Н.Б. Павловский // Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: Сборник отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ. : В.Г. Гусаков [и др.] - Минск: Беларуская навука, 2010. – С. 375-393.

9. Морозов, О.В. Аккумуляция радионуклидов культурными видами *Vacciniaceae* / О.В. Морозов, Н.Б. Павловский, В.Н. Босак // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – №3. – 1996. – С. 62-66.

10. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС : постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 27 дек. 2016 г, № 86 // Национальный правовой Интернет–портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2017. – 8/31754. – Режим доступа : http://www.pravo.by/upload/docs/op/W21731754_1486414800.pdf. – Дата доступа : 31.08.2018.

11. Сорта плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда, включенные в Государственный реестр сортов и находящиеся на испытании в Государственной инспекции по испытанию и охране сортов растений / РУП «Институт плодоводства». – Самохваловичи, 2017. – 32 с.

12. Влияние технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур на накопление ¹³⁷Cs в урожае / Т.Л. Жигарева [и др.] // Агрохимия. – 2003. – № 10. – С. 67–74.

13. Влияние агрохимических и агрометеорологических факторов на накопление цезия-137 в сельскохозяйственных культурах / В.И. Дугинов [и др.] // Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере: тез. докл. IV конф. науч. совета при ГЕОХИ АН СССР по программе "АЭС-ВО". – Гомель, 1990. – С. 85.

Поступила 17.08.2018