

На правах рукописи



Мельченко Александр Иванович

**МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОЭКОЦЕНОЗАХ В
УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЧЕРНОЗЕМНОЙ
БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЮГА РОССИИ**

03.02.08 – экология (биология)

03.02.13 – почвоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Владимир 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор
Мазиров Михаил Арнольдович

Официальные оппоненты: **Соколов Михаил Сергеевич**
академик РАН, доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», Московская обл., п. Большие Вяземы, научный консультант

Зинченко Сергей Иванович
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ГНУ Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, заместитель директора по науке

Проворченко Александр Владимирович
доктор сельскохозяйственных наук, Крымский селекционный центр «Гавриш», ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова

Защита состоится «7» апреля 2017 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 во Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп. 1, ауд.335.

E-mail: sahno_vlgu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте diss.vlsu.ru.
Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просьба присылать по адресу 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корп. 1, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат биологических наук, доцент



О.Н. Сахно

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Загрязнение сельскохозяйственных угодий, в результате радиационных аварий, привело к формированию радиоактивных следов на территории Российской Федерации. Длительный период невозможного использования угодий для выращивания сельскохозяйственных культур, отсутствие информации о миграции радионуклидов в плодовом ценозе в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России, все это определило актуальность темы исследований. До настоящего времени была известна лишь общая картина поведения радионуклидов в экологической цепи почва – растение (Маликов, 1979, 1981, 1982, 1988; Перепелятникова, 1979; Перепелятников, 1983; Алипбеков, Жуков, 1984). Установленные закономерности имеют скорее качественный, чем количественный характер. Поэтому они не пригодны для количественных прогнозов. Вопрос о способах ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях должен решаться в каждом конкретном случае с учётом всех обстоятельств и на основе точной и достоверной информации.

Исходя из вышеизложенного, проблема получения сельскохозяйственной продукции с радиоактивно загрязненных сельхозугодий является весьма актуальной. Настоящая работа направлена на разработку агротехнических приемов выращивания сельскохозяйственных культур на загрязненных территориях, способов снижения содержания поллютантов в продукции. На основании полученной достоверной информации появилась возможность дать рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства, как для однолетних, так и многолетних культур при возможных экологически экстремальных условиях для лесостепной и степной черноземной биогеохимических зон юга России.

Цель и задачи исследований. Цель работы заключалась в определении закономерности миграции радионуклидов в агроэкоценозах лесостепной и степной черноземной биогеохимических зонах юга Российской Федерации и разработке рекомендаций по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения территории.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие

задачи:

1. Определить динамику накопления радионуклидов в различных органах и частях плодовых и орехоплодных пород.
2. Изучить влияние глубины залегания радиоизотопа в почве на закономерности накопления его в плодовых и орехоплодных породах.
3. Определить различие в накоплении радионуклида в зависимости от сортовых особенностей плодовых и орехоплодных пород.
4. Выявить закономерности накопления радионуклидов в растениях в зависимости от способов орошения сельскохозяйственных культур, биологических особенностей растений и физико-химических свойств радионуклидов, влияющих на поступление их в растительные организмы.
5. Изучить динамику накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях в зависимости от количества поливов посевов способом дождевания.
6. Обосновать рекомендации по эффективности использования простейших приемов и способов, снижающих содержание радионуклидов в растениях.
7. Разработать рекомендации по ведению плодоводства и выращиванию орехоплодных культур в экологически экстремальных условиях с учетом их биологических особенностей и сортовых различий растений, глубины залегания радионуклида в почве.

Теоретическое значение и научная новизна. Экспериментально в полевых условиях получены сведения о качественных и количественных закономерностях переноса радиоактивных веществ в агроэкосистемах, накоплении радионуклидов по трофическим цепям в рационе питания человека, которые необходимы для оценки степени экологической опасности проживания населения на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

Проведенные комплексные исследования позволяют прогнозировать экологическую обстановку в сельскохозяйственном производстве. Разработан комплекс мероприятий по ее улучшению, базирующийся на знании особенностей миграции поллютантов в агроэколандшафтах и оценке значимости различных факторов, влияющих на поведение загрязняющих веществ.

Создано новое направление и разработаны рекомендации по использованию радиоактивно загрязненных земель в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России на основе изученной миграции радиоактивных элементов в агроэкосистемах.

Впервые в полевых условиях экспериментально получены научные данные о миграции радионуклидов в многолетних древесных культурах и практически доказано, что на размеры накопления радионуклидов в растениях оказывают влияние их биологические особенности, способы орошения и физико-химические свойства радионуклидов.

Теоретически определена и экспериментально доказана эффективность предложенных приемов и способов, снижающих содержание радионуклидов в растениях.

На основании экспериментального материала выполнена математическая обработка, которая доказала различие в накоплении ^{90}Sr в плодовых и орехоплодных породах в зависимости от глубины нахождения его в почве. Установлено, что сортовые особенности плодовых и орехоплодных пород оказывают влияние на накопление радионуклида в вегетативных и генеративных органах. Определено фактическое накопление в продукции растениеводства радиоактивных веществ и коэффициенты их перехода в звене трофических цепей (почва – растение).

Исследования выполнены по Государственному заказу: Тема 01.01.Д.0.СХ.04 «Разработать систему ведения сельскохозяйственного производства на территориях, прилегающих к атомным электростанциям и другим предприятиям ядерного топливного цикла».

Практическая значимость. Прогноз сложившейся экологической ситуации в агропромышленном производстве лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России возможно осуществить на основании коэффициентов первичного задерживания радионуклидов и коэффициентов перехода их в растения, полученных в полевых условиях. На основе многолетних (1987-2004 гг.) комплексных исследований разработаны рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения агроланд-

шафтов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- накопление ^{90}Sr в вегетативных и генеративных органах плодовых и орехоплодных культур зависит от их биологических особенностей и глубины расположения радионуклида в почве;

- сортовые особенности яблони и фундука оказали влияние на накопление ^{90}Sr в их вегетативных и генеративных органах;

- плантажная вспашка на черноземах выщелоченных малогумусных сверхмощных уменьшает доступность радионуклида растениям при поверхностном расположении их корневой системы, миграция ^{90}Sr в почве плодового ценоза за 10 лет наблюдений составляет 5 см;

- подпочвенное и капельное орошение сельскохозяйственных культур, отличаются наименьшим накоплением радионуклидов в изученных растениях;

- накопление ^{134}Cs и ^{238}U в урожае изученных овощных культур зависит от их биологических особенностей и количества орошений водой, содержащей радионуклиды;

- выведены уравнения позволяющие составить прогноз радиоактивного загрязнения урожая изученных сельскохозяйственных культур; установлен убывающий ряд первичного задерживания изученных радионуклидов надземной частью овощных растений;

- эффективность приемов по снижению содержания радионуклидов в овощных культурах зависит от временного фактора, способа орошения и физико-химических свойств радионуклидов;

- разработаны рекомендации по ведению плодового и выращиванию орехоплодных культур для лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России.

Достоверность результатов работы подтверждается корректно подобранными методами и методиками исследований, анализом воспроизводимости результатов с применением статистических программных комплексов, исследо-

вания выполнены с использованием поверенного сертифицированного оборудования.

Апробация работы. Основные положения работы и результаты исследований были доложены на: Третьей Всесоюзной конференции по сельскохозяйственной радиации (Обнинск, 1990), Всесоюзных и Всероссийских конференциях по сельскохозяйственной радиологии (Обнинск, 1990, 1991, Краснодар, 1993), Международных симпозиумах (Пушино, 1996, Симферополь, 1999), и опубликованы журнал *Агрехимия* (Москва, 1990), учебное пособие (Орехоплодные культуры, Майкоп, 2003), научная конференция (Краснодар, 2004), 12 Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2012 год: экологические проблемы 21 века» (Минск, 2012), 13 Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2013 год: экологические проблемы 21 века» (Минск, 2013).

Материалы исследований и личный вклад автора в решение проблемы

В основу диссертационной работы положены оригинальные материалы, собранные в результате многолетних (1987–2004 гг.) полевых, лабораторных и экспериментальных радиологических исследований автора в Северо-Кавказском НИИ фитопатологии (ФГБНУ Всероссийском НИИ биологической защиты растений) г. Краснодара.

Личное участие автора заключалось в выборе и теоретическом обосновании направления и тематики исследований, постановке проблемы, разработке методологического подхода к ее решению, планировании и выполнении основного объема эксперимента, обсуждении, интерпретации и обобщении полученных данных, апробации результатов исследования, подготовке основных публикаций по выполненной работе. Автор принимал непосредственное активное участие в исследованиях данного направления в различных регионах бывшего СССР, в т.ч. и на территории отчуждения земель после аварии на ЧАЭС.

Публикации. Автором по теме диссертации опубликовано 64 научных работы (25 из которых в журналах рекомендованных ВАК), в том числе 1 монография (изданной в г. Москва, ТСХА), 4 учебника, 6 учебно-методических пособия, 14 научных работ опубликовано в трудах Международных, Всесоюзных

и Всероссийских конференциях и симпозиумах. Материалы по теме исследований изложены в научных отчетах, выполненных по целевым, государственным и международным программам.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, рекомендации, библиографического списка из 421 наименований. В работе 280 страниц текста, 45 таблиц, 42 рисунка, 31 таблиц приложения.

Благодарности. Считаю своим долгом выразить глубокую благодарность моему учителю академику РАСХН Алексахину Р.М., академику РАЕ и РЭА д.б.н., профессору Мазирову М.А., директору ВНИИБЗР акад. РАСХН Надыкте В.Д., к.б.н. Маликову В.Г., д.б.н. Жукову Б.С., к.б.н. Буфатину О.И. за научные консультации. Благодарю также зам. дир. ВНИИБЗР к.б.н. Исмаилова В.Я., к.б.н. Яковука В.А., д.б.н. Угрюмова Е.П., к.б.н. Монастырского О.А., к.б.н. Парашукова Н.П., к.б.н. Журавлева С.В. и всех сотрудников лаборатории радиобиологии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

Интегральные оценки безопасности ядерного и угольного топливного циклов, по критерию – экологический риск и радиационная опасность для здоровья человека, свидетельствуют, что ядерная энергетика безопаснее, чем угольная (Гилляров М.С., Алексахин Р.М., 2001). Но, к сожалению, аварийные ситуации возможны на различном производстве, в том числе и энергетическом. Наиважнейшей задачей является возврат исключенных земель из оборота в сельхоз производство (Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П., 2005).

Актуальность этой проблемы дополняется еще и тем, что происходит увеличение численности населения на планете Земля, на фоне уменьшения площадей плодородных земель.

Одной из важнейших задач, в настоящее время, является изучение миграции радионуклидов по трофическим цепям в агроэкосистемах, как в условиях орошения, так и на богаре. Поведение радионуклидов в почвах в процессе обменного

поглощения подчиняется тем общим законам, которые были установлены классическим учением К.К. Гедройца о поглотительной способности почв (Гедройц, 1955). Однако процесс сорбции, в котором участвуют радиоактивные продукты, характеризуются тем, что сорбируемое вещество находится в микроколичествах, а поэтому в процессе поглощения радиоизотопы не конкурируют за места на поверхности сорбента, так как по отношению к ним насыщенность сорбента всегда остается очень низкой. Нахождение в почвах ^{90}Sr в обменной, легкодоступной для усвоения растениями форме – один из основных факторов, определяющих устойчивость и длительность опасности стронциевого загрязнения внешней среды.

Сельскохозяйственное производство существенно влияет на поведение радиоактивных веществ в агроэкосистемах, ландшафтах, а также в биосфере в целом. Выращивание сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненной территории ускоряет очистку сельхозугодий от загрязнений с одной стороны, с другой – может способствовать рассеиванию радионуклидов семенами, продуктами питания, кормами для животных, увеличивает степень риска облучения и заболеваний животных. Агротехника возделывания, почвенные условия биогеохимических зон и биогеохимические провинции, климатические условия влияют на состояние и подвижность радионуклидов (Ушаков, 1992; Марадулин, Панфилов, Русина, 1996).

Исследования, направленные на использование радиоактивно загрязненных территорий в сельскохозяйственном производстве и в дальнейшем будут носить актуальный характер, так как с одной стороны они увеличат продовольственную базу страны, с другой – снизится распространение радионуклидов в окружающей среде.

Исследования, выполненные в ФГБНУ ВНИИБЗР г. Краснодар, позволяют рекомендовать в качестве эффективного использования земель, выведенных из сферы агропромышленного производства, в связи с их радиоактивным загрязнением, выращивание плодовых и орехоплодных садов. Подобных исследований в лесостепной и степной черноземной биогеохимической провинции в полевых условиях не проводилось.

Большое значение в структуре биосферы имеют биогеохимические пищевые цепи, по которым идет биогенная миграция химических элементов через окружающую геохимическую среду и организмы. Знание закономерностей динамики переноса веществ в природных средах имеет существенное значение для прогнозирования миграции и распределения радионуклидов в почвах, а также для разработки методов, уменьшающих их миграцию в растения.

Глава 2. Условия, объекты и методы исследований

Северный Кавказ отличается большим разнообразием климатических условий и их непостоянством: от резко континентальных в равнинной части, холодных в горных районах до, тропических на Черноморском побережье. В целом климат благоприятствует возделыванию большого набора сельскохозяйственных культур.

Опыты проводились на черноземе выщелоченном малогумусном, сверхмощном. Пахотный слой на участке выполняемых опытов имеет нейтральную реакцию (рН солевой вытяжки 6,9). В нижних слоях реакция слегка щелочная (рН 7,2-7,5). Обменная кислотность 0,6 мг-экв на 100 г почвы. Гидролитическая кислотность 1,3 мг-экв на 100 г почвы. Сумма поглощенных оснований в пахотном горизонте составляет 37,5 мг-экв на 100 г почвы. Содержание гумуса – 3,8 %.

Объектом исследования являлись: плодовые, орехоплодные и овощные культуры такие как: яблоня, фундук, баклажан, томат, перец, морковь, укроп, петрушка, капуста, редис, щавель, лук, чеснок, салат. Данный набор культур представляет 8 ботанических семейств; радионуклиды: ^{115m}Cd в форме $^{115m}\text{CdCl}_2$, ^{134}Cs - $^{134}\text{CsCl}$, ^{54}Mn - $^{54}\text{MnCl}_2$, ^{144}Ce - $^{144}\text{CeCl}_3$, ^{22}Na - $^{22}\text{NaCl}$, ^{65}Zn - $^{65}\text{ZnCl}_2$, ^{59}Fe - $^{59}\text{FeCl}_3$, ^{106}Ru - $^{106}\text{RuCl}_3$, ^{203}Hg - $^{203}\text{HgCl}_2$, ^{60}Co - $^{60}\text{CoCl}_2$, ^{110m}Ag - $^{110m}\text{AgNO}_3$, ^{35}S - $^{35}\text{S-Na}_2\text{SO}_4$, ^{238}U в форме нитратов.

Полив посевов водой, содержащей радионуклиды, проводили в следующие фазы роста и развития растений: щавель, петрушка, лук, чеснок, укроп, салат – интенсивный рост вегетативной массы, редис, морковь – интенсивный рост корнеплодов, томаты, перец болгарский, баклажаны – завязывание плодов первой кис-

ти, капуста – начало завязывания кочана. Норма полива, согласно рекомендациям агротехники возделывания культур.

При поливе дождеванием применяли установку, близкую по техническим характеристикам к производственным. Борозды для полива средней глубины -15 – 18 см по проточности – тупые, расстояние между бороздами 80-100 см. Для капельного орошения использовали капельницы типа «Украина-1» – непрерывного действия. Подпочвенное орошение производили при помощи полиэтиленовых напорных труб. Длина труб – 12 м, глубина укладки – 0,4 – 0,5 м, расстояние между увлажнителями – 1,0 м. Размер делянок – 2 м². Повторность опыта – 6 – кратная. ²³⁸U вносили в воду в концентрации 21,4 мг на 1 л воды, остальные радионуклиды – в концентрации 0,1 МБк/л. Пробы растений отбирали до полива их водой, содержащей радионуклиды, для определения фонового содержания радиоактивных веществ. Сразу после полива посевов дождеванием и капельным способом отбирали пробы растений для определения первичного задерживания растениями радионуклидов. Кроме отбора проб на первичное задерживание, с растений томатов, баклажан, перца болгарского отбирали пробы после созревания плодов 1, 2, 3 кисти; сбор проб моркови, редиса, лука, чеснока – при достижении ими технической зрелости; укропа, петрушки, щавеля, салата – по мере достижения вегетативной массой товарного состояния. Для изучения динамики загрязнения капусты при ее многократном поливе водой, содержащей радионуклиды (способ дождевание), отбирали пробы – после 1, 2, 3, 4 и 5 поливов и в период сбора урожая.

После отбора проб растения разделявали на органы и части, высушивали при температуре 105 °С, взвешивали и измельчали на мельницах МРП-1 или ЭМ-ЗА. Концентрацию ¹³⁴Cs, ⁵⁴Mn, ¹⁴⁴Ce, ²²Na, ²⁰³Hg, ⁶⁵Zn, ⁵⁹Fe, ¹⁰⁶Ru, ^{110m}Ag, ⁶⁰Co определяли на гамма-спектрометре CompuGamma 1282, ^{115m}Cd на газоразрядном счетчике Nuclear Chicago 1152 и ²³⁸U – фотометрическим методом с арсеназо III (Кульский, Саввин, 1966, 1980г).

Для снижения содержания радионуклидов в овощной продукции использовали простейшие технологические способы – обмывание водой и очистку.

Закладка многолетнего опыта требует поэтапного подхода. Эксперимент на-

чат в октябре 1989 г. Опыты на семечковых породах заложены по следующей схеме: 1 вариант – в почву, поверхностно загрязненную ^{90}Sr , проведена посадка двухлетних саженцев яблони сорт Ред Мелба, подвой М-9; 2 вариант – на делянках проведена посадка двухлетних саженцев яблони сорт Ред Мелба, подвой М-9. Радионуклид расположен в почве на глубине 50 см; 3 вариант – почву, поверхностно загрязненную ^{90}Sr , проведена посадка двухлетних саженцев яблони сорт Супер Прекос, подвой М-4; 4 вариант – на делянках проведена посадка двухлетних саженцев яблони сорт Супер Прекос, подвой М-4. Радионуклид расположен в почве на глубине 50 см; 5 вариант – в почву, поверхностно загрязненную ^{90}Sr , проведена посадка двухлетних саженцев яблони сорт Слава Победителям, подвой М-9. Площадь питания яблони во всех вариантах 6×4 м, уровень загрязнения каждого опытного участка составил 500 МБк/м^2 .

В полевых условиях ФГБНУ ВНИИБЗР был заложен экспериментальный участок орехоплодных пород – фундук сорт – «Луиза» и «Ата-баба», по следующей схеме: 1 вариант – почву, поверхностно загрязненную ^{90}Sr , проведена посадка саженцев фундука сорт – «Луиза»; 2 вариант – на делянках проведена посадка саженцев сорт – «Луиза». Радионуклид расположен в почве на глубине 50 см; 3 вариант – в почву, поверхностно загрязненную ^{90}Sr , проведена посадка саженцев фундука сорт – «Ата-баба»; 4 вариант – на делянках проведена посадка саженцев фундука сорт – «Ата - баба». Радионуклид расположен в почве на глубине 50 см. Площадь питания фундука во всех вариантах 4×4 м, уровень загрязнения каждого опытного участка составил 500 МБк/м^2 . Испытания продукции по радиационному признаку выполняли на приборе УСК «Гамма Плюс». Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики.

Методы и методики, использованные в исследовании. Сборник методик по определению радиоактивности окружающей среды. Методики радиохимического анализа (Серета, 1966); Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды (Марей, 1980); Методические указания по определению содержания стронция – 90 и цезия – 137 в почвах и растениях (ЦИНАО, 1985); Радиоэкологические методы (Шульц, Уикер,

1985), «Инструкция по отбору проб почвы при радиационном обследовании загрязненности местности» (1987); «Методика экспрессного определения объемной и удельной активности бета - нуклидов в воде, продуктах питания, продукции растениеводства и животноводства методом «прямого» измерения проб (утв. Госстандартом, Госагропромом и СЭС Минздрава СССР, 1987); ГОСТ Р 50801 – 95; ОСТ Р 10070 – 95; Методика измерения активности бета - излучающих радионуклидов в счетных образцах с использованием программного обеспечения «Прогресс» (разраб. ГП ВНИИФТРИ и утв. ГосСтандартом России, 1996); Методические рекомендации ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта России Центр Метрологии Ионизирующих Излучений. Использование компьютеризованных гамма-, бета-спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» для испытаний проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности (1998); РДУ-99, Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. Методические указания по методам контроля. МУК 2.6.1.1194-03 (2003); Методика полевого опыта (Доспехов, 1968), Биометрия (Лакин, 1980).

С практической точки зрения важно выполнить прогноз распределения и перераспределения радиоактивных веществ в агрофитоценозе в динамике, т.е. дать пространственно-временную картину миграции радионуклидов в агрофитоценозе, в частности для оценки доз облучения разных его компонентов.

Глава 3. Использование радиоактивно-загрязненных территорий под плодовые ценозы

3.1 Оценка влияния биологических особенностей плодовых и орехоплодных пород на накопление в них радионуклидов при поверхностном загрязнении почвы

На территории ФГБНУ Всероссийский НИИ биологической защиты растений в естественных полевых условиях в орехоплодном и яблоневом саду (фундук – сорт «Ата-баба», яблоня – сорт «Супер Прекос») определены различия в накоплении ^{90}Sr в приросте биомассы (коре и древесине), листьях, ядре, в плодах (для

яблони), соцветиях, почках. Согласно экспериментальным данным в коре и древесине яблони больше накопилось радионуклида соответственно в 9 и 16 раз. Так как эксперимент продолжался в течение 13 лет, появилась возможность изучить динамику накопления радионуклидов в семечковых и орехоплодных породах. Интенсивное накопление радионуклида в древесине обоих изучаемых видов растений происходит в первые 7 лет. Однако у семечковых пород этот процесс более интенсивен, чем у орехоплодных. При выращивании сельскохозяйственных культур в первую очередь требуется определить количество радионуклида в их плодах, а так же в листьях, почках, плодовых образованиях, данные приведены на рисунках 1 и 2.

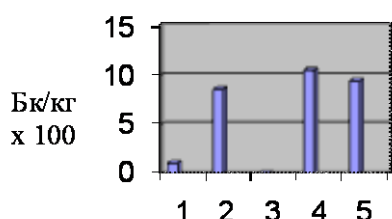


Рисунок 1. Содержание ^{90}Sr в генеративных и вегетирующих органах фундука (1 – околоплодник, 2 – ядро ореха, 3 – соцветие, 4 – листья, 5 – почки)

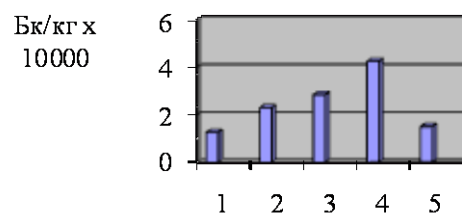


Рисунок 2. Содержание ^{90}Sr в генеративных и вегетирующих органах яблони (1 – околоплодник, 2 – семенная камера, 3 – семена, 4 – листья, 5 – плодовые образования)

В процессе роста и развития растения образование органического вещества целиком и полностью зависит от листового аппарата, поэтому в нем и происходит наибольшее накопление радионуклида. Между изучаемыми видами растений различие в содержании радионуклида составило в листовом аппарате в 40,4 раза, в семенах – в 33,3 раза.

Кроме того, в результате полевых экспериментов было определено, что в околоплоднике яблони ^{90}Sr накапливалось в 14,6 раз больше, чем в ядре фундука (сравнивается съедобная часть растений).

3.2 Влияние биологических особенностей плодовых и орехоплодных пород на накопление радионуклидов (при заглубленном их расположении в почве)

Видовое разнообразие плодовых пород оказывает влияние на содержание ^{90}Sr в генеративных и вегетирующих органах растений. Различие в содержании изучаемого радионуклида в коре штамба яблони по отношению к фундуку составило

вила в 14, а в древесине – в 16 раз. Семечковые породы вступают в пору плодоношения на 4 – 5 год жизни. К этому времени корневая система яблони в почве залегает не столь глубоко, как в 8 и более лет. То есть наиболее интенсивно, как показывают наши исследования, радионуклид накапливается в коре яблони к 10 – 12 году жизни.

Основной фактор, оказавший влияние на степень накопления ^{90}Sr в коре и древесине изучаемых пород – это их биологические особенности, к которым в конечном итоге можно отнести интенсивность роста побегов, образование поросли, глубину залегания корневой системы, площадь листовой поверхности, общий объем биомассы, урожайность.

Установлено различие в содержании ^{90}Sr в генеративных, вегетативных органах и частях изучаемых растений, которое составило между околоплодником яблони и ядром ореха в 95,5 раз, листьями – в 2041 раз.

3.3 Влияние глубины залегания ^{90}Sr в почве на его накопление в яблоне

В зависимости от варианта расположения радионуклида в почве, определено существенное различие в накоплении ^{90}Sr в коре и древесине яблони сорт «Супер Прекос»). Больше содержалось ^{90}Sr в коре и древесине яблони в варианте 2. Это в первую очередь объясняется расположением в почве, как радионуклида, так и с годами развившейся корневой системы. Очень важно было определить: есть ли разница в накоплении радионуклида в плодах яблони в зависимости от варианта ее выращивания (рис. 3). Во втором варианте больше содержалось ^{90}Sr в околоплоднике, семенной камере и семенах соответственно в 3,2; 3,4 и 3,2 раза (рис. 3).

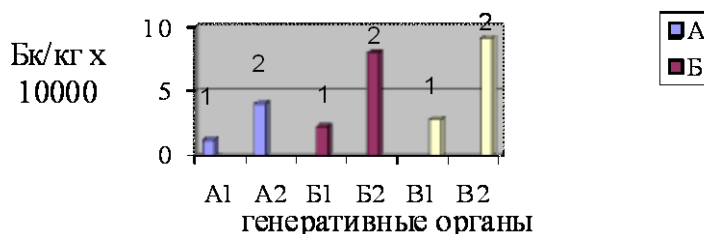


Рисунок 3. Накопление ^{90}Sr в генеративных органах (А – околоплодник, Б – семенная камера, В – семена, 1 – радионуклид расположен на поверхности почвы, 2 – на глубине 50 см)

Разница в накоплении ^{90}Sr в зависимости от глубины его расположения в почве в листьях и плодовых образованиях составила в 9 и в 18 раз соответственно.

3.4 Влияние глубины залегания ^{90}Sr в почве на его накопление в фундуке

В коре и древесине фундука (сорт – «Луиза»), больше накапливалось ^{90}Sr при расположении радионуклида на поверхности почвы. Определены различия в накоплении ^{90}Sr в ядре фундука в зависимости от глубины расположения радионуклида в почве: в 1,5 раза меньше его накопилось во 2 варианте (рис. 4). Различий в накоплении ^{90}Sr в соцветиях фундука не обнаружено (фон), однако в почках и листьях его больше (соответственно в 7,3 и 4,2 раза) при поверхностном расположении радионуклида на почве (рис.5). Накопление ^{90}Sr в ядре фундука в зависимости от глубины залегания радионуклида описывается уравнениями: $y = 442 + x \times (-2,45)$ $r = 0,972$ $F = 172$ (50 см); $y = 616 + x \times 4,25$ $r = 0,986$ $F = 338$ (0 см)

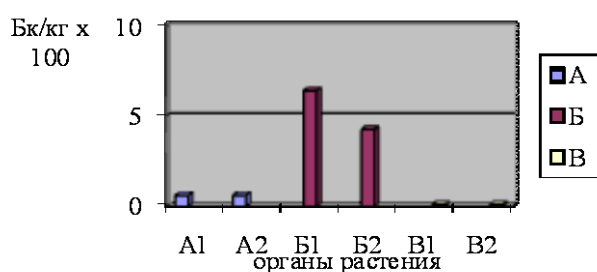


Рисунок 4. Накопление ^{90}Sr в генеративных органах фундука (А – околоплодник, Б – ядро, В – соцветия; 1–радионуклид расположен на поверхности почвы, 2–на глубине 50 см)

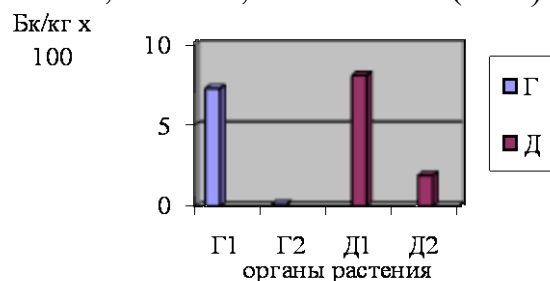


Рисунок 5. Накопление ^{90}Sr в вегетативных органах фундука, Г – почки, Д – листья, 1–радионуклид расположен на поверхности почвы, 2 – на глубине 50 см)

3.5 Содержание ^{90}Sr в яблоне в зависимости от сортовых особенностей на примере сортов «Ред Мелба» и «Слава Победителям»

В коре и древесине яблони сорта «Слава Победителям» больше содержалось радионуклида, чем у сорта «Ред Мелба». В листьях сорта «Слава Победителям» так же больше (в 1,6 раз) содержится радионуклида, чем у сорта «Ред Мелба». То есть сортовые особенности оказывают влияние на накопление ^{90}Sr (табл.1).

Таблица 1.

Накопление ^{90}Sr в органах яблони, в зависимости от сортовых особенностей, при поверхностном расположении радионуклида на почве, Бк/кг

Органы растения	Сорт	
	«Слава Победителям»	«Ред Мелба»
Листья	$12,80 \times 10^2 \pm 0,19 \times 10^2$	$8,10 \times 10^2 \pm 0,11 \times 10^2$
Околоплодник	$6,60 \times 10^2 \pm 0,11 \times 10^2$	$3,90 \times 10^2 \pm 0,09 \times 10^2$
Семенная камера	$9,00 \times 10^2 \pm 0,08 \times 10^2$	$5,60 \times 10^2 \pm 0,09 \times 10^2$
Семена	$10,00 \times 10^2 \pm 0,90 \times 10^2$	$6,50 \times 10^2 \pm 0,08 \times 10^2$
Плодовые образования	$9,01 \times 10^2 \pm 0,16 \times 10^2$	$6,50 \times 10^2 \pm 0,19 \times 10^2$

Причина такого различия, кроется в силе роста побегов изучаемых сортов и сроках созревания плодов: «Ред Мелба» – сорт летнего созревания плодов, «Слава Победителям» – типичный осенний сорт. В околоплоднике, семенной камере и семенах сорта «Слава Победителям» больше накопилось ^{90}Sr , чем в сорте «Ред Мелба» соответственно в 1,7; 1,6 и 1,5 раз.

3.6 Накопление ^{90}Sr в фундуке в зависимости от сортовых особенностей «Ата-баба» и «Луиза»

По результатам проведенных экспериментов, можно констатировать, что больше ^{90}Sr содержится в коре, древесине (1,8 раз) и листьях (в 1,3 раз) сорта «Ата-баба». Сорт «Ата-баба» имеет более высокую порослеобразовательную способность и урожайность.

Очень важной информацией для принятия решения о рекомендации выращивания орехоплодных на загрязненной территории является накопление радионуклидов в хозяйственно – ценной части растения. Больше в 1,7 и 1,3 раза накапливается ^{90}Sr соответственно в скорлупе и ядре ореха сорта «Ата-баба». Накопление ^{90}Sr в ядре сорта «Ата-баба» описано уравнением: $y = 876 \times e^{(-0,00385 \times x)}$
 $r = 0,940$ $F = 76,5$; в ядре сорта «Луиза»: $y = 616 + x \times 4,25$ $r = 0,986$ $F = 338$

3.7 Миграция ^{90}Sr в плодовом ценозе в почвенном горизонте чернозема выщелоченного, в зависимости от глубины его расположения

Исходя из экспериментальных данных, можно утверждать, что миграция радионуклида, расположенного на глубине 50 см, составила 5 см за весь период наблюдений (14 лет) (табл.2).

Таблица 2.

Изучение миграции ^{90}Sr в почве после плантажной вспашки в саду (2004 г.)

Глубина, см	Содержание, Бк/кг	Глубина, см	Содержание, Бк/кг
0 – 5	$8,98 \times 10^4 \pm 1,49 \times 10^2$	40 – 45	$9,86 \times 10^4 \pm 1,56 \times 10^2$
5 – 10	$4,58 \times 10^3 \pm 1,12 \times 10^2$	45 – 50	$2,13 \times 10^6 \pm 2,72 \times 10^2$
10 – 15	$3,78 \times 10^3 \pm 1,10 \times 10^2$	50 – 55	$2,10 \times 10^6 \pm 2,71 \times 10^2$
15 – 20	$3,50 \times 10^3 \pm 1,10 \times 10^2$	55 – 60	$5,91 \times 10^4 \pm 1,33 \times 10^2$
20 – 25	$3,50 \times 10^3 \pm 1,11 \times 10^2$	60 – 70	$3,10 \times 10^3 \pm 1,09 \times 10^2$
25 – 30	$3,29 \times 10^3 \pm 1,09 \times 10^2$	70 – 80	$3,05 \times 10^3 \pm 1,09 \times 10^2$
30 – 35	$3,41 \times 10^3 \pm 1,10 \times 10^2$	80 – 100	$3,09 \times 10^3 \pm 1,08 \times 10^2$
35 – 40	$3,46 \times 10^3 \pm 1,10 \times 10^2$	–	–

При поверхностном расположении радионуклида на почве его вертикальная миграция составила около 5 см за тот же период времени.

Из полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что в животном организме (черви) содержится больше радионуклида (в 664 раза) при поверхностном расположении ^{90}Sr на почве, чем при заглубленном.

Глава 4. Особенности накопления ^{90}Sr в ясене обыкновенном в зависимости от глубины его расположения в почве

Создание сети садозащитных лесных полос является составной частью организации территории сада. Они уменьшают силу ветров и тем самым сокращают губительное действие суховеев и развитие ветровой эрозии.

Из всей совокупности радиоактивных продуктов деления и нуклидов с наведенной активностью, образующихся в ядерных реакциях, только в отношении двух радионуклидов – ^{90}Sr и ^{137}Cs (в меньшей степени) почвенный путь поступления в растительность, в том числе и древесную, играет важную радиационно – гигиеническую (с точки зрения загрязнения растительной продукции) и радиэкологическую (в плане поступления в растения радионуклидов, как источников облучения) роль. Это связано с тем, что как показано в большом числе исследований, только ^{90}Sr может интенсивно накапливаться в растениях из почвы (Алексахин, 1975; Козубов, Таскаев, 1991).

Для садозащитных опушек подходят в качестве главных пород ясень обыкновенный, орех черный (Барышман, 1968). Накопление радионуклидов в органах древесных пород садозащитной лесной полосы может определять дополнительную дозу облучения для животных и человека. Согласно экспериментальных данных больше (соответственно в 2,7 и 2,6 раза) ^{90}Sr накапливается в коре и древесине деревьев, растущих на территории с 50 см залеганием нуклида в почве (рис.6).

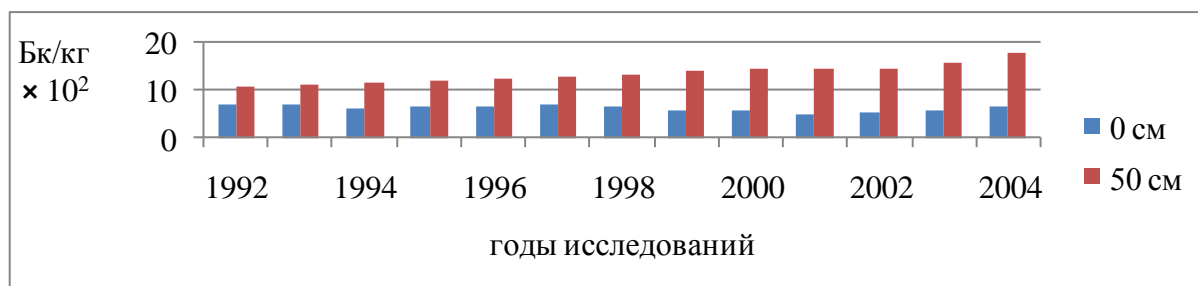


Рисунок 6. Содержание в древесине ясеня обыкновенного ^{90}Sr , в зависимости от глубины его расположения в почве

Такое различие в накоплении радионуклида в коре и древесине исследуемого растения, можно объяснить именно расположением ^{90}Sr в почвенном горизонте. В листьях ясеня обыкновенного так же больше (в 3 раза) накопилось ^{90}Sr в варианте с заглублением его в почве на 50 см.

Глава 5. Ведение орошаемого сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения

5.1 Влияние способов полива и количества воды, содержащей радионуклиды, на их поступление в сельскохозяйственные растения

Для каждой конкретной культуры необходим свой режим орошения. Используемые ниже показатели отражают перераспределение не объемов воды, а количества радионуклидов. Установлено, что первичное задерживание радионуклидов надземной массой томатов и моркови при поливе дождеванием составляло до 6,8 %, а при капельном орошении – до 0,8 %. При капельном орошении величина коэффициента первичного задерживания (Кпз) для изучаемых радионуклидов была меньше, чем при орошении посевов дождеванием в 7,6 раз для томатов и в 11,3 раза – для моркови.

Коэффициент перехода ^{134}Cs для томатов при поливе посевов дождеванием был большим, чем при капельном орошении в 6 раз, для моркови – в 3 раза, ^{65}Zn – соответственно в 6 и 10 раз, $^{115\text{m}}\text{Cd}$ – в 7 и 8 раз и ^{238}U – в 1,4 раза для обеих культур. Динамика накопления радионуклидов в хозяйственно-ценной части растений также зависит от способа полива посевов (рис. 7, рис. 8).

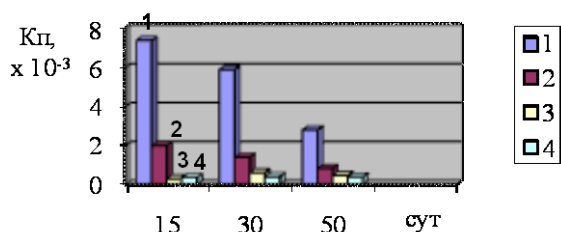


Рисунок 7. Динамика содержания ^{134}Cs в плодах томатов в зависимости от способа полива (1 – дождевание, 2–капельное орошение, 3–по бороздам, 4–подпочвенное орошение)

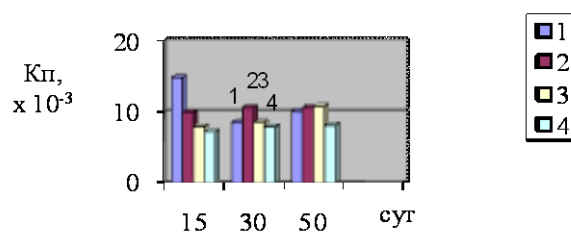


Рисунок 8. Динамика содержания ^{65}Zn в плодах томатов в зависимости от способа полива (1–дождевание, 2 – капельное орошение, 3–по бороздам, 4–подпочвенное орошение)

При поливе томатов дождеванием и капельном орошении содержание радионуклидов в плодах уменьшалось за первые несколько суток, в основном за счет смывания их атмосферными осадками, а также образования новых плодов. При подпочвенном орошении и поливе по бороздам накопление радионуклидов в плодах томатов со временем увеличивается. Способ орошения оказал существенное влияние на накопление радионуклидов в корнеплодах моркови (табл. 3).

Таблица 3.

Содержание радионуклидов в урожае корнеплодов моркови в зависимости от способа полива

Способ орошения	Коэффициент перехода, (Бк / кг) / (Бк / м ²) × 10 ⁻³			
	¹³⁴ Cs	⁶⁵ Zn	^{115m} Cd	²³⁸ U
Дождевание	9,7 ± 0,26	32,3 ± 0,89	86,1 ± 3,50	3,2 ± 0,15
Капельное	3,4 ± 0,60	9,6 ± 1,50	66,7 ± 4,60	1,5 ± 0,14
По бороздам	1,9 ± 0,12	9,8 ± 1,60	49,3 ± 9,80	0,82 ± 0,046
Подпочвенное	1,9 ± 0,04	7,3 ± 0,28	13,0 ± 1,76	0,76 ± 0,06

Для получения высоких урожаев некоторых сельскохозяйственных культур требуется неоднократный их полив. Примером может служить капуста белокочанная. Количество поливов водой, содержащей радионуклиды, а их было 5, оказало влияние на накопление ¹³⁴Cs и ²³⁸U в ассимилирующих и кроющих листьях капусты (рис. 9, рис.10).

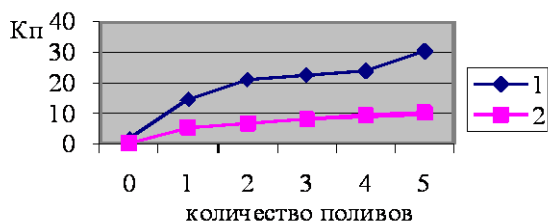


Рисунок 9. Динамика накопления радиоактивных веществ в ассимилирующих листьях капусты (1 – ¹³⁴Cs, 2 – ²³⁸U, Кп, (Бк / кг) / (Бк / м²) (× 10⁻³)

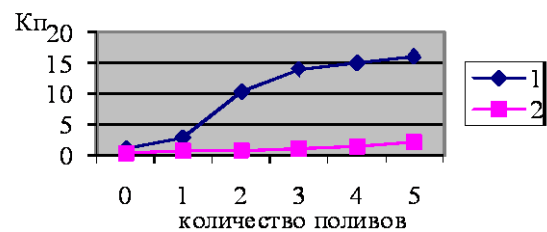


Рисунок 10. Динамика накопления радиоактивных веществ в кроющих листьях капусты (1 – ¹³⁴Cs, 2 – ²³⁸U, Кп, (Бк / кг) / (Бк / м²) (× 10⁻³)

Это утверждение оказывается правомерным и для кочана капусты, где ¹³⁴Cs и ²³⁸U содержится больше при дробном поливе.

5.2 Накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях в зависимости от их биологических особенностей и физико-химических свойств радионуклидов

Накопление радионуклидов овощными растениями, агротехника возделывания

вания которых требует, как правило, орошения, изучено недостаточно. В выполненных экспериментах Кпз радионуклидов при поливе посевов дождеванием достигал 16,8 % для ^{134}Cs и до 1,6 % – для ^{238}U . Наибольшим Кпз отличаются зеленные культуры (салат, щавель, петрушка) до 16,8 %. Несколько ниже Кпз у редиса, томатов, моркови, укропа, пшеницы, перца болгарского и баклажан – до 3,0 %. Наименьший Кпз у культур, которые отличаются небольшой фитомассой (чеснок, лук) или гидрофобностью листьев (капуста). В целом такое процентное распределение объясняется проективным покрытием площади почвы растениями, характером морфологического строения надземной части культуры, продолжительностью вегетационного периода, массой и строением корневой системы растений, массой плодов и расположением их на растении, количеством сборов плодов за вегетационный период.

Коэффициент первичного задерживания радионуклидов надземной массой овощных культур при орошении дождеванием зависит от их видовых биологических особенностей и различается в 40,2 раза для ^{134}Cs , и в 97 раз – для ^{238}U .

Уменьшение содержания радионуклида в зеленных культурах происходило в основном за счет многократного сбора урожая по мере достижения ими товарных размеров, смыва дождем, выдувания ветром. Морковь, лук, чеснок, редис дают один урожай за вегетационный период, поэтому снижение содержания радионуклидов в надземной массе несколько меньше, кроме того, вышеперечисленные культуры имеют запасующий питательные вещества орган. Естественное снижение содержания радионуклидов в вегетативной массе этих культур находится в интервале от 1,7 (морковь) до 7,6 раз (лук) – для ^{134}Cs и от 1,7 (лук) до 12,7 раз (морковь) – для ^{238}U .

Динамика изменения коэффициентов перехода радионуклидов в товарную часть овощных культур при орошении дождеванием, может быть описана уравнениями: перец болгарский для ^{134}Cs $y = 7,85 \times e^{(-0,00332 \times x)}$ $r = 0,999$ $F = 1430$; для ^{238}U $y = 4,51 + x \times (-0,00501)$, баклажаны для ^{134}Cs $y = 5,17 + x \times (0,00612)$ $r = 0,865$ $F = 5,96$; для ^{238}U $y = 6,67 \times e^{(-0,00282 \times x)}$ $r = 0,999$ $F = 1,07 \times 10^3$.

В урожае хозяйственно-ценной части изучаемых культур содержание ^{134}Cs

убывает в ряду: редис, морковь, пшеница, чеснок, лук, томаты, баклажаны, перец болгарский капуста; для ^{238}U – редис, морковь, чеснок, пшеница, томаты, баклажаны, перец болгарский, капуста (табл. 4).

Таблица 4.

Содержание радионуклидов в урожае овощных и зерновых культур

Культура	Время отбора проб после полива, сут	Коэффициент перехода, $(\text{Бк} / \text{кг}) / (\text{Бк} / \text{м}^2) \times 10^{-3}$	
		^{134}Cs	^{238}U
Редис	11	$12,9 \pm 0,67$	$3,9 \pm 0,15$
Лук	30	$4,0 \pm 0,15$	
Чеснок	30	$5,2 \pm 0,10$	$1,8 \pm 0,20$
Перец болгарский	30	$0,7 \pm 0,07$	$0,9 \pm 0,05$
Баклажаны	30	$0,8 \pm 0,10$	$0,9 \pm 0,10$
Томаты	50	$2,6 \pm 0,30$	$1,0 \pm 0,03$
Морковь	70	$9,8 \pm 0,15$	$3,5 \pm 0,20$
Капуста	110	$0,4 \pm 0,04$	$0,2 \pm 0,02$
Пшеница	35	$7,6 \pm 0,40$	$1,6 \pm 0,09$

Важным фактором, определяющим доступность для растений радионуклидов, являются их физико-химические свойства. Накопление радионуклидов и характер их распределения по органам растений определяются в первую очередь потребностью в них растительных организмов. Сильная степень аккумуляции характерна также для радионуклидов, макроколичества изотопных носителей которых относятся к биологически важным элементам.

В исследования было включено 11 радионуклидов различных групп таблицы Д.И. Менделеева. Результаты исследований показывают, что величина закрепления радионуклидов на поверхности растений различна. Так, при поливе посевов дождеванием по величине первичного задерживания их надземной частью овощных растений они располагаются в следующий убывающий ряд: $^{134}\text{Cs} > ^{60}\text{Co} > ^{144}\text{Ce} > ^{59}\text{Fe} > ^{22}\text{Na} > ^{65}\text{Zn} > ^{203}\text{Hg} > ^{54}\text{Mn} > ^{106}\text{Ru} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{238}\text{U}$ – для салата и $^{60}\text{Co} > ^{134}\text{Cs} > ^{65}\text{Zn} > ^{106}\text{Ru} > ^{203}\text{Hg} > ^{54}\text{Mn} > ^{238}\text{U} > ^{144}\text{Ce} > ^{59}\text{Fe} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{22}\text{Na}$ – для баклажан. Для товарной части баклажан ряд будет следующим: $^{60}\text{Co} > ^{238}\text{U} > ^{59}\text{Fe} > ^{65}\text{Zn} > ^{134}\text{Cs} > ^{22}\text{Na} > ^{203}\text{Hg} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{106}\text{Ru} > ^{54}\text{Mn} > ^{144}\text{Ce}$.

Первичное задерживание загрязняющих растение веществ в первую очередь связано с листовым аппаратом: его биологическими особенностями, пространственной ориентацией, фазой развития, физико-химическими свойствами химиче-

ских элементов и т.д. Отмечена высокая биологическая подвижность ^{134}Cs . Конечно, первостепенную роль в накоплении этого элемента в растении играет то, что цезий является аналогом в биологическом отношении калия. ^{106}Ru заметной биологической роли в растительном организме не играет. Поэтому незначительное его количество накапливается в надземной массе. Часть радионуклидов наведенной активности (^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn) относятся к микроэлементам. Этим и определяются их сравнительно высокая биологическая подвижность и характер распределения по органам растений. Тяжелые естественные радионуклиды для растений нужны в ультрамикроколичествах. Повышенные концентрации тяжелых естественных радионуклидов угнетают рост и развитие растений вследствие своей хемотоксичности или радиоактивного воздействия, в связи с чем, для этих радионуклидов так же характерно повышенное накопление в корнях по сравнению с надземной массой.

Относительные масштабы включения отдельных радионуклидов в биогеохимический цикл зависят и от уровня биофильности соответствующего элемента, т.е. от обязательности его участия в процессах формирования и функционирования живого организма. В нашей работе к числу радионуклидов, представляющих биофильные элементы, отнесены ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{59}Fe .

5.3 Эффективность приемов по снижению накопления радионуклидов в овощных растениях

В диссертации рассматриваются два способа снижения содержания радионуклидов в хозяйственно – ценной части растений – это технологический обмыв и очистка продукции.

Сразу после полива растений водой, содержащей радионуклиды, способом дождевание, эффективность от обмыва плодов томатов выше. Снижение содержания радионуклидов в плодах через 15 суток после полива было до 3,6 (^{238}U) раза. Наименьший эффект от обмыва плодов получен при поливе растений способом – подпочвенное орошение – 1,2 (^{238}U) раза.

С течением времени эффективность от обмыва плодов уменьшается: через

30 суток после полива возможно снизить в 2,0 (^{134}Cs) раз, а через 50 суток – в 1,4 (^{65}Zn и ^{238}U) раза от начального их содержания. При помощи обмыва корнеплодов моркови в проточной воде удалось снизить содержание радионуклидов при поливе растений дождеванием до 3,2 (^{134}Cs) раза, а при капельном орошении – до 2,6 (^{134}Cs) раза. При поливе растений по бороздам и подпочвенном орошении такого эффекта не обнаружено (табл. 5).

Таблица 5.

Снижение содержания радионуклидов в корнеплодах моркови при обмыве и очистке их в проточной воде и очистке

Варианты опыта	Коэффициент перехода, (Бк / кг) / (Бк / м ²) × 10 ⁻³			
	Дождевание	Капельное	По бороздам	Подпочвенное
^{134}Cs				
Немытые	9,70 ± 0,30	3,40 ± 0,20	1,90 ± 0,10	1,90 ± 0,10
Мытые	3,00 ± 0,20	1,30 ± 0,10	1,85 ± 0,10	1,84 ± 0,20
Очищенные	1,55 ± 0,45	0,70 ± 0,10	1,50 ± 0,10	0,80 ± 0,03
^{65}Zn				
Немытые	32,30 ± 0,90	9,60 ± 1,10	9,80 ± 0,90	7,30 ± 0,30
Мытые	19,50 ± 1,40	8,00 ± 0,90	9,10 ± 0,10	6,70 ± 0,20
Очищенные	10,50 ± 0,30	4,80 ± 0,70	3,90 ± 0,40	3,40 ± 0,14
$^{115\text{m}}\text{Cd}$				
Немытые	86,10 ± 3,50	66,70 ± 4,10	49,30 ± 3,90	13,00 ± 1,30
Мытые	52,10 ± 2,40	44,50 ± 2,90	48,80 ± 4,10	13,00 ± 1,30
Очищенные	41,60 ± 2,30	39,20 ± 2,10	34,60 ± 2,40	9,10 ± 0,24
^{238}U				
Немытые	3,20 ± 0,20	1,50 ± 0,10	0,82 ± 0,05	0,76 ± 0,05
Мытые	2,40 ± 0,20	0,90 ± 0,10	0,79 ± 0,06	0,72 ± 0,05
Очищенные	0,70 ± 0,05	0,41 ± 0,02	0,49 ± 0,02	0,37 ± 0,01

При поливе дождеванием с помощью очистки снизилось содержание радионуклидов в корнеплодах в 6,2 раза (^{134}Cs), при капельном орошении – в 4,8 раза (^{134}Cs), при поливе по бороздам – в 2,5 раза (^{65}Zn) и при подпочвенном орошении – в 2,4 раза (^{134}Cs). Снижение содержания в плодах радионуклидов определяется, в том числе, и различием их физико – химических свойств. Через 2 часа после полива салата водой, содержащей радиоизотопы, были отобраны образцы и обмыты в проточной воде. После процедуры получен следующий ряд в порядке убывания содержания радионуклидов: $^{65}\text{Zn} > ^{59}\text{Fe} > ^{134}\text{Cs} > ^{60}\text{Co} > ^{54}\text{Mn} > ^{22}\text{Na} > ^{238}\text{U} > ^{203}\text{Hg} = ^{106}\text{Ru} > ^{144}\text{Ce} = ^{110\text{m}}\text{Ag}$. Через 12 суток после полива салата при помощи обмывания растений снижение содержания радионуклидов было незначительным и получен следующий ряд: $^{203}\text{Hg} > ^{144}\text{Ce} > ^{59}\text{Fe} > ^{22}\text{Na} > ^{238}\text{U} > ^{54}\text{Mn} > ^{60}\text{Co} > ^{134}\text{Cs} > ^{65}\text{Zn} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{106}\text{Ru}$.

ВЫВОДЫ

1. На основании экспериментальных данных получены сведения о качественных и количественных закономерностях переноса радиоактивных веществ в агроэкосистемах, накоплении радионуклидов по трофическим цепям в рационе питания человека, что является необходимым условием оценки степени экологической опасности проживания населения на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

2. Впервые для условий лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны разработано и экспериментально апробировано новое направление использования сельскохозяйственных земель подвергшихся радиоактивному загрязнению – плодоводство (семечковые и орехоплодные культуры):

- видовое различие между плодовыми и орехоплодными породами оказывает влияние на накопление ^{90}Sr в изучаемых растениях при поверхностном расположении радионуклида на почве;

- в вегетативных органах и плодах семечковых пород больше накапливается ^{90}Sr в варианте с заглаблением радионуклида на 50 см, чем при поверхностном его расположении, в садозащитной лесной полосе в ясене обыкновенном отмечена такая же закономерность;

- заглабление радионуклида в почву на 50 см уменьшает накопление стронция – 90 в вегетативных и генеративных органах фундука, но увеличивает накопление его в соответствующих органах яблони;

- сортовые особенности оказали влияние на накопление ^{90}Sr в коре, древесине, листьях и плодах семечковых и орехоплодных пород;

- миграция ^{90}Sr от места внесения в нижележащие почвенные горизонты невелика: всего 5 см за весь период наблюдений, как при поверхностном его расположении на почве, так и при заглаблении на 50 см;

3. Наибольшее радиоактивное загрязнение растений происходит при поливе дождеванием, наименьшее – при подпочвенном. Высокий коэффициент задерживания, при орошении дождеванием, у салата, щавеля, петрушки, низкий – у чеснока, капусты, лука.

4. Установлена закономерность накопления ^{134}Cs и ^{238}U в кроющих, ассимилирующих листьях капусты и кочане в зависимости от количества поливов посевов дождеванием водой, содержащей радионуклиды.

5. Выведены уравнения, наиболее точно описывающие динамику изменения коэффициентов перехода радионуклидов (^{134}Cs и ^{238}U) в товарную часть овощных культур при орошении дождеванием.

6. Биологические особенности изучаемых культур оказали влияние на накопление ^{134}Cs , получен убывающий ряд: редис, морковь, пшеница, чеснок, лук, томаты, баклажаны, перец болгарский, капуста; для ^{238}U – редис, морковь, чеснок, пшеница, томаты, баклажаны, перец болгарский, капуста.

7. Первичное задерживание надземной частью овощных растений зависит от физико-химических свойств радионуклидов, для изученных радионуклидов получен убывающий ряд: $^{134}\text{Cs} > ^{60}\text{Co} > ^{59}\text{Fe} > ^{22}\text{Na} > ^{65}\text{Zn} > ^{203}\text{Hg} > ^{54}\text{Mn} > ^{106}\text{Ru} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{238}\text{U}$ – для салата и для товарной части баклажан: $^{60}\text{Co} > ^{59}\text{Fe} > ^{65}\text{Zn} > ^{134}\text{Cs} > ^{22}\text{Na} > ^{203}\text{Hg} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{106}\text{Ru} > ^{54}\text{Mn}$.

8. Эффективность приемов по снижению содержания радионуклидов в овощных культурах зависит от способа полива, времени контакта с растением и от физико-химических свойств радионуклида: через 12 суток после полива салата при помощи обмывания был получен следующий ряд снижения содержания радионуклидов: $^{203}\text{Hg} > ^{144}\text{Ce} > ^{59}\text{Fe} > ^{22}\text{Na} > ^{238}\text{U} > ^{54}\text{Mn} > ^{60}\text{Co} > ^{134}\text{Cs} > ^{65}\text{Zn} > ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{106}\text{Ru}$, через 23 суток: $^{22}\text{Na} > ^{203}\text{Hg} > ^{144}\text{Ce} > ^{134}\text{Cs} = ^{60}\text{Co} > ^{54}\text{Mn} = ^{238}\text{U} > ^{106}\text{Ru} > ^{65}\text{Zn} = ^{110\text{m}}\text{Ag} > ^{59}\text{Fe}$. Наименьший эффект от обмыва плодов овощной продукции получен при поливе растений способом – «подпочвенное орошение».

9. Впервые составлены, научно обоснованы и экспериментально апробированы в полевых условиях рекомендации по ведению плодоводства и выращиванию орехоплодных культур в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России.

Приложение. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения территории

Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в НРБ – 99.

При выращивании овощных культур рекомендуется:

- использовать для томатов и моркови полив по бороздам и подпочвенное орошение, как наименее загрязняющие;

- в севооборот включать сельскохозяйственные культуры с учетом их биологических особенностей, влияющих на накопление радионуклида. По накоплению ^{134}Cs в урожае изучаемых культур получен следующий убывающий ряд: редис, морковь, пшеница, капуста, чеснок, лук, томаты, баклажаны, перец болгарский; по накоплению ^{238}U – редис, морковь, чеснок, пшеница, томаты, перец болгарский, баклажаны, капуста;

- особое внимание уделить биофильным элементам. К таковым, согласно экспериментальным данным, следует отнести ^{134}Cs (как аналог в биологическом отношении калия), ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{59}Fe ;

- перед использованием, как пищевой продукт обмывать плоды томатов и зеленных культур (салат, петрушка, щавель, укроп) после орошения их дождеванием, особенно в первые сутки после попадания радионуклида на плоды;

- очищать корнеплоды для снижения содержания в них радионуклидов;

- обмывать плоды баклажан и салат для уменьшения содержания радионуклидов особенно в первые часы после поверхностного загрязнения.

Не рекомендуется выращивать на загрязненных сельскохозяйственных полях культуры, которые требуют многократного их полива для получения высоких урожаев (капуста белокочанная).

При создании и эксплуатации сада фундука рекомендуется:

- заглубить радионуклид в почву на 50 см, в этом случае в ядре фундука меньше накапливается ^{90}Sr , лист также меньше накапливает радионуклида, что в

свою очередь уменьшает дополнительную дозу облучения рабочих в саду;

- использовать сорта с малой порослеобразовательной способностью.

При создании и эксплуатации яблоневого сада целесообразны следующие рекомендации:

- в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны плантажную вспашку не выполнять, поскольку она способствует большему накоплению ^{90}Sr ;

- использовать слаборослые сорта, как наименее загрязняющиеся в процессе вегетации. Содержание радионуклида в листьях слаборослого сорта в 1,6 раза меньше, чем в сильнорослом, в околоплоднике – в 1,7 раз, в семенной камере – в 1,6 раз, в семенах – в 1,5 раза;

- не рекомендуется оставлять загрязненную почву без растений, так как на свободной территории могут развиваться почвенные эрозионные процессы, как под действием ветра, так и под действием осадков;

- не рекомендуется для создания лесных полос выполнять плантажную вспашку почвы, так как древесные породы в лесной полосе будут больше загрязнены;

- миграция радионуклида из пахотного слоя почвы за 14 лет составила 5 см, вследствие этого не рекомендуется на подобных площадях выращивать сельскохозяйственные культуры с поверхностной корневой системой. Такие участки могут быть использованы для закладки сада;

- миграция в почве радионуклида на глубине 50 см за 14 лет составила около 5 см. В случае такого расположения радионуклида рекомендуется выращивать на подобных площадях сельскохозяйственные культуры с поверхностной корневой системой.

Основные публикации по теме диссертации

В изданиях из списка ВАК

1. **Мельченко, А.И.** Влияние глубины внесения ^{90}Sr в почву на его накопление в органах и тканях яблони на примере сорта «Супер Прекос»/ А.И. Мельченко// Вестник южного научного центра РАН. 2007. – Т.3. – №4. – С.65-69.

2. **Мельченко, А.И.** Накопление ^{90}Sr в растениях яблони в зависимости от сортовых особенностей /А.И. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2 (6) Краснодар, 2007. - С.109-113.
3. **Мельченко, А.И.** Накопление ^{90}Sr в органах орехоплодных пород в зависимости от их сортовых особенностей/ А.И. Мельченко, Е.А. Мельченко, В.А. Яковук// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2 (11) Краснодар, 2008. – С.154-159.
4. **Мельченко, А.И.** Накопление радионуклидов в сельскохозяйственных растениях в зависимости от их биологических особенностей/ А.И. Мельченко, Е.Н. Мкртчян, В.А. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 6 (33) Краснодар, 2011. – С.83-89.
5. **Мельченко, А.И.** Влияние кратности полива водой, содержащей радионуклиды, на накопление их в разных органах сельскохозяйственных растений/ А.И. Мельченко, Е.А. Мельченко, В.Г. Живчиков// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 4 (31) Краснодар, 2011. – С.181-186.
6. **Мельченко, А.И.** Накопление радионуклидов в сельскохозяйственных культурах в зависимости от времени их контакта с растениями/А.И. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 4 (31) Краснодар, 2011. - С.157-162.
7. **Мельченко, А.И.** Миграция стронция в различных слоях чернозема выщелоченного/А.И. Мельченко// Агротехнический вестник, т.1, №1, 2015. – С.12 – 14.
8. **Мельченко, А.И.** Влияние способов полива водой, содержащей радионуклиды, на накопление их в разных органах сельскохозяйственных растений/ А.И. Мельченко, Н.В. Чернышева, В.А. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 6 (33) Краснодар, 2011. – С.100-106.
9. **Мельченко, А.И.** Накопление радионуклидов в сельскохозяйственных растениях в зависимости от физико – химических свойств радионуклидов/ А.И. Мельченко, В.А. Мельченко, Е.А. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 1 (34) Краснодар, 2012. – С.91-99.

10. **Мельченко, А.И.** Накопление стронция в фундуке в зависимости от глубины залегания в почве/ А.И. Мельченко// Агрехимический вестник, т.2, №2, 2015. – С.25 – 28.
11. **Мельченко, А.И.** Эффективность очистки сельскохозяйственных растений от радиоактивного загрязнения в зависимости от способа их полива водой, содержащей радионуклиды/ А.И. Мельченко, В.А. Мельченко, Е.А. Мельченко, А.Г. Сухомлинова// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 1 (34) Краснодар, 2012. – С.166-173.
12. **Мельченко, А.И.** Эффективность очистки сельскохозяйственных растений от радиоактивного загрязнения в зависимости от их биологических особенностей при поливе водой, содержащей радионуклиды/ А.И. Мельченко, В.А. Мельченко, Е.А. Мельченко, В.В. Стрельников// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2 (35) Краснодар, 2012. – С.182-189.
13. **Мельченко, А.И.** Влияние фактора времени и глубина залегания ^{90}Sr в почве на его накопление в яблоне сорта «Супер Прекос»/ А.И. Мельченко, В.А. Погорелова// Вестник Алтайского государственного аграрного университета, №8 (142) г.Барнаул, 2016. – С. 54-60.
14. **Мельченко, А.И.** Влияние сортовых особенностей яблони сортов «Ред Мелба» и «Слава Победителям» на накопление ^{90}Sr в вегетативных и генеративных органах/ А.И. Мельченко, Е.А. Есауленко, В.А. Погорелова// Проблемы региональной экологии, №3 Москва, 2016. – С.9-15.
15. **Мельченко, А.И.** Влияние физико – химических свойств радионуклидов на эффективность очистки сельскохозяйственных растений от радиоактивного загрязнения при орошении их радиоактивной водой/А.И. Мельченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2 (35) Краснодар, 2012. – С.295-301.
16. **Мельченко, А.И.** Влияние температуры воды на поступление радионуклидов в растения при поливе посевов способом – дождевание/А.И. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2 (47) Краснодар, 2014. – С.88-93.

17. **Мельченко, А.И.** Динамика накопления ^{90}Sr в вегетативных и генеративных органах различных сортов фундука/ А.И. Мельченко, А.Н. Кравченко, Е.А. Мельченко// Проблемы региональной экологии, №3 Москва, 2016. – С.51-56 .
18. **Мельченко, А.И.** Миграция ^{90}Sr в кустарниковых породах сазозащитной лесной полосы (на примере свидины красной) /А.И. Мельченко// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 1 (58) Краснодар, 2016. – С.156-161.

Монографии

1. **Мельченко, А.И.** Миграция и накопление радионуклидов в окружающей среде: монография/ А.И. Мельченко, В.В. Стрельников, И.П. Прохоров. – М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2006. – 190с.

Учебно-методические работы

1. **Мельченко, А.И.** Методические указания. Мониторинг сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия атомной электростанции/А.И. Мельченко, В.Г. Маликов // Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, 2000. – 89с.
2. **Мельченко, А.И.** Радиационная экология: учебник/А.И. Мельченко, В.В. Стрельников, А.Ф. Инюкин. – Майкоп: ГУРИИП «Адыгея», 2005. – 300с.
3. **Мельченко, А.И.** Экологический мониторинг: учебник/ А.И. Мельченко, В.В. Стрельников.- Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2012. – 372с.
4. **Мельченко, А.И.** Экологическая безопасность: учеб.-метод. пособие/ А.И. Мельченко, Е.В. Суркова, В.В. Стрельников. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2014. – 98 с.
5. **Мельченко, А.И.** Выращивание сельскохозяйственных культур при радиоактивном загрязнении территории в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России: рекомендации, А.И. Мельченко.- ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2014. – 37 с. (ISBN 978-5-94672-810-2)

6. **Мельченко, А.И.** Оценка воздействия систем земледелия и агротехнологий на окружающую среду: учебник/А.И. Беленков, М.А. Мазиров, А.И. Мельченко.- М., 2015. – 217 с.
7. **Мельченко, А.И.** Оценка воздействия сельскохозяйственной техники на окружающую среду: учебное пособие/ А.И. Мельченко, М.А. Мазиров, А.И. Беленков.-М., 2016. – 270 с.

Международные, Всесоюзные и Всероссийские конференции и симпозиумы

1. **Мельченко, А.И.** Миграция радионуклидов при орошении/ А.И. Мельченко, В.Г. Маликов, Р.М. Алексахин// Третья Всесоюзная конференция по сельскохозяйственной радиации. – Обнинск, 1990. – С.69-72.
2. **Мельченко, А.И.** Накопление радионуклидов в сельскохозяйственной продукции/ А.И. Мельченко, В.Г. Маликов, Р.М. Алексахин// Третья Всесоюзная конференция по сельскохозяйственной радиации.– Обнинск, 1990. – С.81-84.
3. **Мельченко, А.И.** Миграция радионуклидов по различным звеньям биологической цепочки в почвенно-климатических условиях Северного Кавказа/А.И. Мельченко// Всесоюзная конференция «Проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги, проблемы и перспективы». – Обнинск, 1991. – Т.1. – С.56.
4. **Мельченко, А.И.** Миграция радионуклидов в орошаемом агрофитоценозе при использовании сбросных вод ПЯТЦ/А.И. Мельченко// Всесоюзная конференция «Проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в агропромышленном производстве – пять лет спустя: итоги, проблемы и перспективы» - Обнинск, 1991. – Т.1. – С.57.
5. **Мельченко, А.И.** Тяжелые металлы в почвах Краснодарского края/ А.И. Мельченко, В.Г. Маликов, Б.И. Жуков// Мониторинг загрязнения почв ксенобиотиками и адсорбционные методы детоксикации: материалы Всероссийского научного симпозиума/ Всероссийский НИИ биологической защиты растений. Краснодар, 1993. – С.64-65.
6. **Мельченко, А.И.** О миграции тяжелых металлов в черноземах Краснодарского края/А.И. Мельченко, В.Г. Маликов, Б.И. Жуков// Мониторинг загрязнения

- почв ксенобиотиками и адсорбционные методы детоксикации: материалы Всероссийского научного симпозиума /Всероссийский НИИ биологической защиты растений. Краснодар, 1993. – С.66-67.
7. **Мельченко, А.И.** Миграция радионуклидов и тяжелых металлов в орошаемом агрофитоценозе при использовании сбросных вод предприятий полного ядерного топливного цикла/А.И. Мельченко, В.Г. Маликов// Международный симпозиум «Тяжелые металлы в окружающей среде». – Пущино, 1996. – С.34-35.
 8. **Мельченко, А.И.** Обмыв растений – эффективный способ снижения в них содержания радионуклидов и тяжелых металлов/А.И. Мельченко, В.Г. Маликов// Международный симпозиум «Тяжелые металлы в окружающей среде». – Пущино, 1996. – С.37–38.
 9. **Мельченко, А.И.** Содержание радионуклидов в некоторых сельскохозяйственных растениях/А.И. Мельченко// 8 Международный симпозиум «Нетрадиционное растениеводство, экология и здоровье».– Симферополь, 1999. – С.28-34.
 10. **Мельченко, А.И.** Изучение миграционных особенностей ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах плодового ценоза/ А.И. Мельченко, В.А. Мельченко, А.А. Подгорная//33 научная конференция студентов и молодых ученых вузов Южного Федерального округа. – Краснодар, 2006. – С.101.
 11. **Мельченко, А.И.** Миграция радионуклидов в садовом агроценозе/А.И. Мельченко// Научная конференция по итогам 2004г. /Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар, 2004. – С.12-14.
 12. **Мельченко, А.И.** Влияние сортовых особенностей яблони на накопление ^{90}Sr в различных ее органах и частях (на примере сортов «Мелба Ред» и «Слава Победителям»)/А.И. Мельченко// «Сахаровские чтения 2012 года: Экологические проблемы 21 века»: материалы 12 Международной научной конференции. – Минск, 2012. – С. 236.
 13. **Мельченко, А.И.** Влияние сортовых особенностей фундука на накопление ^{90}Sr в различных его органах и частях (на примере сортов «Ата-Баба» и «Луиза»)/А.И. Мельченко, В.А. Мельченко// «Сахаровские чтения 2012 года: Эколо-

гические проблемы 21 века»: материалы 12 Международной научной конференции. – Минск, 2012. – С. 237.

14. **Мельченко, А.И.** Поступление из почвы ^{90}Sr в орехоплодные культуры при различной глубине его залегания/А.И. Мельченко, Е.А. Мельченко// «Сахаровские чтения 2013 года: Экологические проблемы 21 века»: материалы 13 Международной научной конференции. – Минск, 2013. – С. 183.
15. **Мельченко, А.И.** «Миграция и накопление ^{90}Sr в древесной растительности природного ценоза в условиях Краснодарского края»/Мельченко А.И., Татарин М.В. // X Всероссийская конференция молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». - Краснодар, 2016.- С.67.