На правах рукописи

ФЕДОТОВА АРИНА СЕРГЕЕВНА

ЭКОЛОГО-РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ СУБКЛИНИЧЕСКИХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АГРОБИОЦЕНОЗЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Екатеринбург
2024

Работа выполнена на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор

Колесников Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты:

Дерхо Марина Аркадьевна доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Семенов Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской республики и Российской Федерации, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»

Кошелев Сергей Николаевич доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарии и зоотехнии институт биотехнологии государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева, филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»

Защита диссертации состоится «14» мая 2024 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.038.01 при Уральском государственном аграрном университете по адресу: 620075, Свердловская область г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта д.42, ауд. 1203 тел./факс (343) 221-40-26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Уральского государственного аграрного университета и на сайте https://urgau.ru/images/NAUKA/Zashita_dissert/Fedotova/diss_Fedotova.pdf

Автореферат размещен на официальных сайтах ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ https://vak.minobrnauki.gov.ru/ и ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» https://urgau.ru/images/NAUKA/Zashita_dissert.

Автореферат разослан «____» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Неверова Ольга Петровна

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Увеличение радиационного фона биосферы является значимой радиобиологической проблемой, техногенные радионуклиды в окружающей среде, с.-х. продукции являются факторами, оказывающими негативное воздействие. К настоящему времени изучено состояние радиационной обстановки на территориях радиационных аварий, испытаний ядерного оружия (Андреева Н.В. и др., 2018; Арышева С.П. и др., 2018; Базарбаев Н.Н. и др., 2022; Ильязов Р.Г., 2011; Кочиш И.И. и др., 2014; Кривоногова А.С., 2017; Цветнова О.Б., 2021). Существуют работы по оценке степени влияния малых доз радиации на состояние биоты (Бурлакова Е.Б., 2007; Епимахов В.Г., 2017; Исамов Н.Н. и др., 2002; Переволоцкий А.Н., 2020; Спирин Е.В., 2009; Panov A.V., 2019).

Красноярский край относится к числу регионов с напряженной радиационной ситуацией, благодаря точечному техногенному загрязнению поймы р. Енисей в результате предыдущей деятельности Федерального государственного унитарного предприятия «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК») (Григорьев А.И., и др. 2012). В пойме р. Енисей определена удельная активность (УА), и миграция техногенных изотопов (Bolsunovsky A and etc., 2021; Зотина Т.А., и др. 2022; Ракитский В.Н. и др., 2018).

Малые дозы ионизирующего излучения (ИИ) изменяют гомеостаз организма (Аверин В.С., 2015; Гулаков А.В., 2021; Костенко С.А. и др., 2014). Оценено воздействие малых доз ионизирующего излучения (ИИ) на здоровье и продуктивность с.-х. животных (Михеева Е.А., 2006; Исамов Н.Н., 2002; Карпенко А.Ф., 2020; Донник И.М. и др., 2012), периферическую кровь человека, лабораторных и с.-х. животных (Аклеев А.В., 2019; Антонишкис Ю.С. и др., 2013; Асташева Н.П. и др. 2015; Орлов Д.Ю, 2015; Петряков В.В., 2017; Шевченко Т.С., 2013) на процессы генерации активных форм кислорода (АФК) клетками организма (Alesina V.U., 1999; Vladimirov Yu.A., 2009). Таким образом в научной литературе недостаточно данных, комплексно оценивающих влияние ИИ в диапазоне малых доз на гомеостаз организма с.-х. животных.

Материалы диссертационных исследований являются частью тематического плана НИОКР, (протокол №2 от 30.10.2017 г.) кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, института ПБиВМ ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

Цель и задачи исследования. Цель работы – изучить эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ИИ на агробиоценозы Красноярского края.

В связи с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Провести анализ эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края, выделить на территории края аграрные ландшафты с техногенной радиоэкологической нагрузкой.
2. Выполнить радиоэкологическое обследование агробиоценозов с различной дозовой нагрузкой, оценить миграционную активность техногенных радионуклидов и радиационную безопасность с.-х. продукции.
3. Рассчитать дозовую нагрузку на с.-х. животных в агробиоценозах с различным радиоэкологическим статусом.
4. Оценить радиобиологические эффекты в крови с.-х. животных в агробиоценозах с различным радиоэкологическим статусом.

5. Установить радиобиологические эффекты в венозной крови при облучении «in vitro» в субклинических дозах.
6. Определить степень корреляционной зависимости хемилюминесцентных показателей при воздействии ионизирующего излучения «in vivo» и «in vitro».
7. Рассчитать интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов.

Научная новизна. На территории Красноярского края выполнена дифференцировка агроландшафтов по техногенному радиоактивному загрязнению. Выявлено дополнительное загрязнение звеньев трофической цепи аграрных ландшафтов, находящихся в зоне наблюдения (ЗН) ФГУП «ГХК». Впервые в работе представлен комплекс количественных данных о структурных изменениях и функциональной активности клеток периферической крови с.-х. животных в диапазоне субклинических доз ИИ. Показана высокая чувствительность хемилюминесцентного (ХЛ) метода при оценке радиобиологических эффектов при действии малых доз ИИ на периферическую кровь. Получены новые данные ХЛ характеристик периферической крови с.-х. животных и степень отклонения этих показателей у животных из районов с повышенной поглощенной дозой ИИ. Установлена корреляционная зависимость между ХЛ характеристиками при облучении «in vivo» и «in vitro» в дозах 1,33 и 1,55 мГр. Впервые экспериментально установлены закономерности развития изменений радиочувствительных гематологических, биохимических, ХЛ показателей крови с.-х. животных при воздействии субклинических доз ИИ. Для оценки степени техногенного воздействия предложен интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов, с набором эколого-радиобиологических индексов.

Научно-практическая значимость. Установлена радиационная безопасность агропродукции агроландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой. Оценено влияние ФГУП «ГХК» на радиационную безопасность компонентов агроландшафтов Красноярского края. Результаты оценки влияния низких поглощенных доз ИИ на периферическую кровь и гомеостаз организма животных значительно расширяют существующие представления о действии малых доз ИИ излучения на организм с.-х. животных. Экспериментально обоснована информативность использования ХЛ метода в качестве чувствительного маркера индуцированных радиацией повреждений клеток периферической крови. Определены наиболее информативные показатели ХЛ метода, рекомендуемые для оценки состояния организма животных при проведении исследований по изучению действия ИИ в малых дозах. Разработаны научно-практические рекомендации «Расчет доз облучения с.-х. животных в условиях Красноярского края» (рекомендованы Минэкологии и рационального природопользования Красноярского края, протокол № 21 от 14.12.2021).

Результаты исследований были внедрены в работу следующих организаций: СФНЦ агробиотехнологии РАН; Бюджетное учреждение «Республиканская ветеринарная лаборатория, республики Алтай»; Красноярская краевая ветеринарная лаборатория; АО «НИиПЦ «Природа»; КГКУ «Железногорский одел ветеринарии» ЗАТО г. Железногорск. Результаты научных исследований применяются в учебном процессе: ФГБОУ ВО «Омский ГАУ», ФГБОУ ВО «Горно-алтайский государственный университет», ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В Красноярском крае имеются отдельные аграрные ландшафты с повышенным радиационным загрязнением, обусловленным наличием техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды.

2. Дополнительная техногенная нагрузка аграрных ландшафтов обусловлена загрязнением ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{152}Eu почв; ^{137}Cs – кормов и продукции животноводства. На территории Красноярского края производится радиационно безопасная агропродукция.

3. Модели миграции ^{137}Cs в цепи «почва-корма-агропродукция» в аграрных ландшафтах с антропогенным загрязнением позволяют прогнозировать УА ^{137}Cs в агропродукции.

4. Дозовая нагрузка на с.-х. животных в радиационно-безопасных аграрных ландшафтах Красноярского края – 0,92 мГр/год, в агарных ландшафтах с антропогенным загрязнением – 1,33-1,55 мГр/год.

5. В организме с.-х. животных малые дозы ИИ излучения формируют разнонаправленные радиобиологические эффекты.

6. При воздействии «in vitro» на периферическую кровь крупного рогатого скота субклинических доз от 1,33 мГр до 500 мГр формируются радиобиологические эффекты, сходные с облучением «in vivo».

7. Корреляционная зависимость ХЛ характеристик периферической крови при воздействии субклинических доз ИИ «in vivo» и «in vitro».

8. Расчет интегрального показателя радиационной опасности агробиоценозов позволяет дифференцировать аграрные ландшафты по уровню техногенного загрязнения.

Личный вклад диссертанта. Автором выполнены полевые исследования в условиях агробиоценозов Красноярского края (гамма-сьемка, отбор проб почвы, кормов, продукции животноводства). Все экспериментальные, гематологические, спектрометрические, дозиметрические исследования проведены диссертантом самостоятельно или при его непосредственном участии. Автором самостоятельно проведена статистическая обработка и анализ полученного цифрового материала, сформулированы основные положения и выводы работы, осуществлена подготовка к печати научных статей, отражающих результаты диссертации.

Апробация работы. Материалы научно-исследовательской работы доложены и обсуждены на международных научно-практических конференциях: «Наука и образование: опыт. Проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2012-2023); Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies – AGRITECH-I, II 2019 (Krasnoyarsk, 2019); «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве» (Обнинск, 2020); «Экологический мониторинг: методы и подходы» (Красноярск, 2021); Advancesin Materials, Systems and Technologies (Krasnoyarsk, 2021); Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies – AGRITECH-V – 2021 (Krasnoyarsk, 2021); «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК» (Екатеринбург, 2022); «Животноводство в современных условиях: новые вызовы и пути их решения» (Орел, 2022); «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий» (Луганск, 2023), «Актуальные проблемы радиобиологии, агроэкологии и радиационных технологий в АПК» (Казань, 2023) а так же на конференции, посвященной 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 2018) и XX международном симпозиуме «Сложные системы в экстремальных условиях» (Красноярск, 2021). На национальных научных конференциях: «Теория и практика современной аграрной науки» (Новосибирск, 2020), «Актуальные вопросы ветеринарных и сельскохозяйственных наук» (Троицк, 2021) и трех всероссийских научных конференциях (Чебоксары 2020, Вологда 2020, Омск 2021).

Публикации. По теме диссертации опубликовано: 43 научные работы, из них 10 – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ; 3 – в журналах международной базы данных Scopus, Web of Science; 2 монографии; 2 учебных пособия.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследований, результатов собственных исследований, обсуждения результатов исследований, выводов, практических предложений, списка литературы и приложения. Работа представлена на 328 страницах машинописного текста, содержит 56 таблиц и 57 рисунков, из них 44 диаграммы, 2 карты, 2 схемы и 9 фотографий. Список литературы – 290 наименований, из них 64 зарубежных источника.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность научному консультанту д-р. биол. наук, профессору Колесникову В.А. и д-р. ветерин. наук, доценту Турицыной Е.Г., сотрудникам лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь» и лично Григорьеву А.И., сотруднику лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» Пряхиной Л.А., сотрудникам лаборатории МНЦ ФИЦ КНЦ СО РАН канд. биол. наук, ст.науч. сотруд. Макарской Г.В. и вед. инж. Тарских С.В. за техническую поддержку и консультативную помощь.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2012-2022 гг., объектами являлись три аграрных ландшафта Красноярского края, имеющих различный радиоэкологический статус: контрольный ландшафт (ООО «Миндерлинское») – годовая доза для с.-х. животных – 0,92 мГр; 1-ый опытный аграрный ландшафт (с. Момотово) – доза 1,33 мГр/год; 2-ой опытный аграрный ландшафт (с. Большой Балчуг) – годовая дозовая нагрузка 1,55 мГр/год. Опытные агроландшафты географически принадлежат территории ЗН ФГУП «ГХК». Контрольный аграрный ландшафт ООО «Миндерлинское» (56°26'20" с.ш., 92°54'25" в.д.), находится в 50 км на север от г. Красноярска, в Сухобузимском районе Красноярского края. Первый опытный агроландшафт (57°37'45" с.ш., 93°19'12" в.д) расположен на удалении 183 км на север от г. Красноярска, в Казачинском районе Красноярского края, на правом берегу реки Енисей. Второй опытный агроландшафт (56°27'12" с.ш., 93°42'44" в.д) расположен в удалении 40 км в северо-восточном направлении от г. Красноярска, в Сухобузимском районе Красноярского края, на правом берегу протоки р. Енисей, в 6 км от границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ФГУП «ГХК». На сенокосно-пастбищных агробиоценозах, опытных ландшафтов имеются участки с дополнительной техногенной нагрузкой.

Моделирование радиобиологических эффектов субклинических доз проведено на облученной «in vitro» крови крупного рогатого скота аграрного ландшафта ООО «Емельяновское», имеющего фоновое значение годовой дозы 0,92 мГр. ООО «Емельяновское» (56°10′14″ с. ш. 92°40′20″ в.д.), расположено в Емельяновском районе Красноярского края в 15 км к западу от г. Красноярска. Общая схема исследования представлена на рис. 1

Радиоэкологические исследования проведены согласно МУ 13.5.13-00, выбор агробиоценозов осуществлен по принципу их экологической идентичности и различий по уровню γ-фона, УА радионуклидов в почве и кормах. В период с 2016 по 2018 год на территории сенокосно-пастбищных агробиоценозов проведены рекогносцировочные измерения γ-фона, выполнен контроль мощности дозы внешнего гамма-излучения с применением радиометра СРП-68-01 и многофункционального широкодиапазонного профессионального дозиметра ДРГ-01Т1.

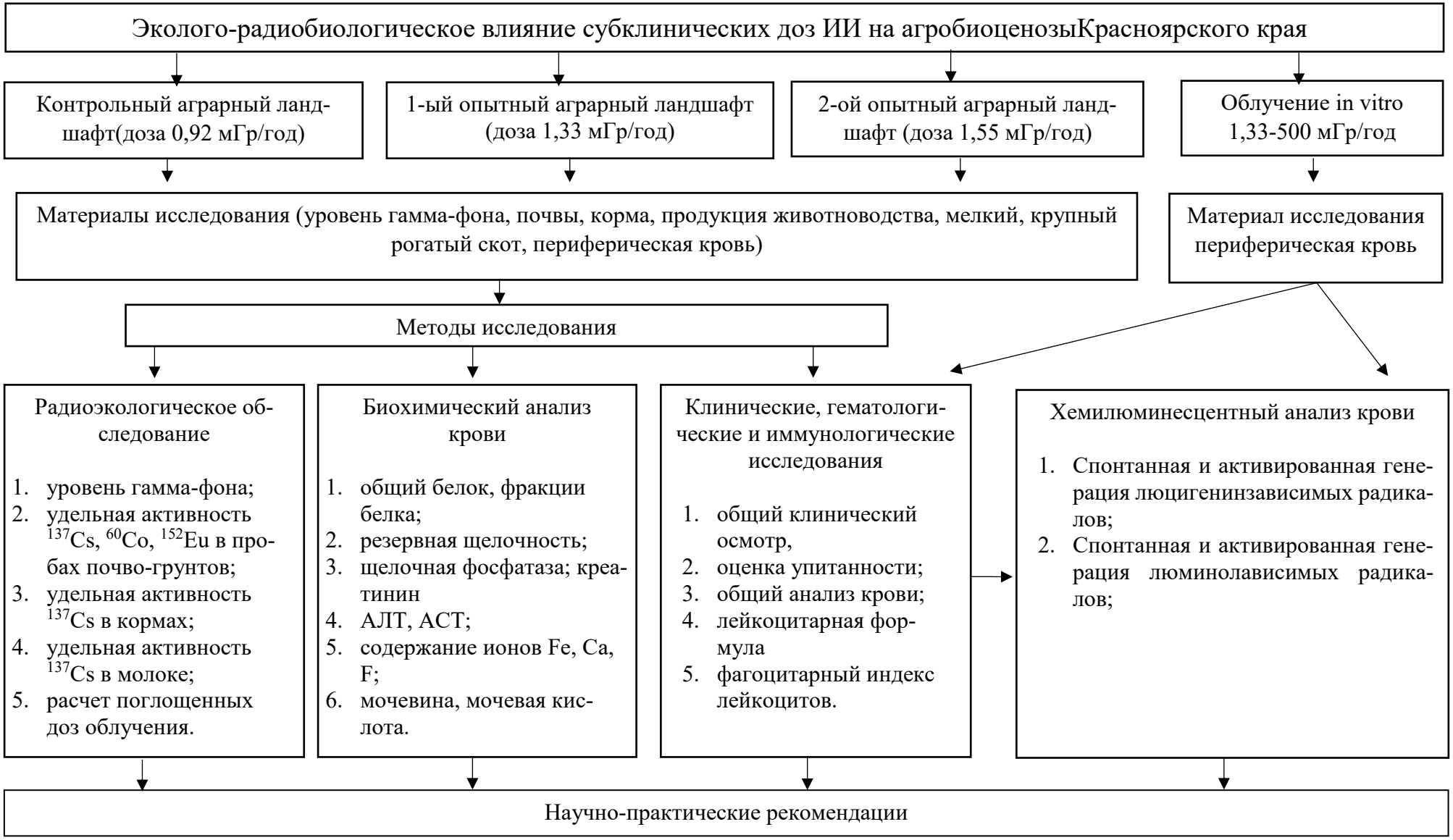

Рис 1 – Схема исследований

Отбор проб проводили согласно требованиям нормативно-методических документов Роспотребнадзора и Россельхознадзора РФ. В контрольном агроландшафте исследовано 5 сенокосно-пастбищных агробиоценозов, общая площадь – 1530 га (469 точек гамма-сьемки). В 1-ом и 2-ом опытном ландшафте исследовано по 8 сенокосно-пастбищных агробиоценозов, (238 и 224 точки гамма-сьемки соответственно), общая площадь – 188,3га и 190,7 соответственно. Материалы исследования: почвы, корма, молоко коровье, количество проведенных исследований представлено в таблице 1.

В пробах почвы определяли УА ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{152}Eu методом гамма-спектрометрии в геометрии Маринелли в течение 2400-3600с. на гамма-спектрометрах «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметре-радиометре МКС-АТ130. УА ^{137}Cs в грубых и сочных кормах, молоке определяли по методики ФГУП ВНИИМ с предварительным озолением, на гамма-спектрометрах МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметре-радиометре МКС-АТ130 в геометрии сосуда Маринелли 250 мл, время измерения 7200с.

Таблица 1 – Количество проведённых исследований

Методы исследования	Объекты исследования						Всего проб
	почва	корма	молоко коровье	кровь	коровы	овцы	
Гамма-сьемка, кол-во точек	931	-	-	-	-	-	931
Агрохимическая характеристика почв	30						30
УА^{137}Cs в почвах	136	-	-	-	-	-	136
УА ^{60}Co в почвах	136	-	-	-	-	-	136
УА ^{152}Eu в почвах	136	-	-	-	-	-	136
УА ^{137}Cs в грубых кормах	-	45	-	-	-	-	45
УА ^{137}Cs в зеленых кормах	-	45	-	-	-	-	45
УА ^{137}Cs в молоке коровьем	-	-	45	-	-	-	45
Клинический осмотр	-	-	-	-	110	49	159
Упитанность животных	-	-	-	-	110	49	159
Гематологическое исследование	-	-	-	159+213	-	-	372
Биохимические исследование крови	-	-	-	159+213	-	-	372
Иммунобиологическое исследование крови	-	-	-	159+213	-	-	372
ХЛ исследование крови	-	-	-	636+852	-	-	1 488
Статистический анализ по Стьюденту				2 604			2 604
Критерий Чеддока				36			36
Корреляционный анализ по Спирмену	136	90	45	36			307
Регрессионный анализ	136	90	45	170			441
Всего	1 641	270	135	5 450	220	98	7 814

Дозы рассчитывали по ВП 13.73.13/12-00 «Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами». Автором предложена методика расчета годовой поглощенной дозы для с.-х. животных.

В период с 2017 по 2019 год проведено клиническое обследование крупного рогатого скота и овец в контрольном и опытных агроландшафтах. Клиническое исследование включало сбор анамнеза, общий клинический осмотр животных, оценку упитанности. Общий клинический осмотр проводили по общепринятой схеме, оценку упитанности по методике Э. Уайлдмана. Отбор проб для гематологических, биохимических, иммунобиологических и ХЛ исследований проводили в вакуумные пробирки с гепарином и активатором свертываемости в утреннее часы, у крупного рогатого скота – из хвостовой вены, у овец – из наружной яремной вены.

В период с 2019 по 2022 год проведено моделирование радиобиологических эффектов субклинических доз при облучении «in vitro» крови крупного рогатого скота. Облучение проб в дозах 1,33-500 мГр проводили «in vitro» на установке «УПО-Интер» с источником ^{137}Cs, исследовано 213 проб, из них 43 контрольных.

Общий анализ крови проведен по общепринятым методикам на кафедре ВНБ, акушерства и физиологии с.-х. животных ИПБиВМ. Для выведения лейкоцитарной формулы использовали метод Мухина, с окраской мазков по методу Паппенгейма. Биохимические исследования сыворотки крови проведены на базе научно-исследовательского центра ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ» с использованием спектрофотометра ПЭ-5400 уф и реагентов набора «Витал». Фагоцитарную активность лейкоцитов определяли при антигенной активации «in vitro» частицами латекса 5×10^8 част./мл опсонизироваными белками пуловой сыворотки крови. Кинетика спонтанной и активированной генерации АФК регистрировалась ХЛ методом на 36-канальном хемилюминометре 3604–ПЭВМ. ХЛ анализ основан на реакции АФК со специфическими маркерами (усилителями ХЛ) первичных (люцигенин) и вторичных (люминол) радикалов, время записи ХЛ кривой крови крупного рогатого скота – 180 мин., овец – 90 мин.

Интегральная оценка радиационной обстановки проводилась согласно Р 52.18.787-2013 «Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки».

Статистическая обработка полученного цифрового материала проведена методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента, регрессионного и корреляционного анализов по методу Спирмена и оценке функциональной связи по шкале Чеддока с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019.Различия цифровых данных считали достоверными при $P\leq0,05$.

3. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Анализ эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края

Мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды на территории Красноярского края осуществляется организациями: ФГБУ «Среднесибирское УГМС»; КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края»; радиоэкологический центр ФГУП «ГХК»; министерством природных ресурсов и экологии; управлениями Россельхознадзора и Роспотребнадзора.

Особенности радиационной обстановки Красноярского края: радиоактивное загрязнение поймы р. Енисей в границах ЗН ФГУП «ГХК»; наличие на территории восьми участков подземных ядерных взрывов; природные радиоактивные аномалии.

ФГУП «ГХК» – комплекс производств ядерно-топливного цикла, предназначенный для выпуска продукции в сфере атомной энергии, хранения отработанного ядерного топлива, предприятие относится к радиационному объекту I категории, для него установлены СЗЗ и ЗН. ЗН включает территорию с радиусом 20 километров вокруг места расположения основного источника газо-аэрозольных выбросов и 1000 километров поймы р. Енисей вниз по течению от места сброса сточных вод комбината. В 20-километровой части ЗН расположено 13 сельских населенных пунктов (НП), где проживает 7 399 человек, г. Железногорск с населением 87 990 человек. На берегах р. Енисей в границах ЗН расположены более 30 НП. В 20-километровой ЗН дополнительное радиоактивное загрязнение сопоставимо с уровнем глобального загрязнения и обнаруживается только по повышенным значениям УА ^{239}Pu и ^{137}Cs. В границах 1000-км. ЗН в пойме р. Енисей имеются многочисленные участки аккумуляции техногенных изотопов.

ФГБУ ГЦАС «Красноярский» проводит ежегодный контроль УА ^{137}Cs, ^{90}Sr в почвах на 16 реперных участках в Березовском, Пировском, Назаровском, Козульском, Боготольском, Балахтинском, Большемуртинском, Емельяновском, Манском и Ужурском районах края. За период с 2010 по 2021 г. превышений предельно допустимых уровней активности ^{137}Cs, ^{90}Sr на реперных участках не зафиксировано.

КГКУ «Краевая ветеринарная лаборатория» проводит радиологический контроль объектов ветеринарного надзора в 6 пунктах Красноярского края: ООО ОПХ «Солянское» Рыбинского района, ООО «Имисское» Курагинского района, ЗАО «Сибирь-1» Шушенского района, ООО «Анциферовское» Енисейского района, ИП глава КФХ Цебиков Ачинского района. Радиологический контроль объектов ветеринарного надзора на территории северных районов края проводит КГКУ «Таймырский отдел ветеринарии». Контролируется УА ^{137}Cs и ^{90}Sr в сене, соломе, сенаже, кормовых смесях, мясе крупного рогатого скота и молоке коровьем. За период с 2010 по 2021 год превышения УА ^{137}Cs и ^{90}Sr в контролируемых объектах зарегистрировано не было.

По данным ФГБУ «Среднесибирское УГМС», управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю, ФГУП «ГХК» с 2018 по 2022 год установлено, что в г. Железногорске и агроландшафтах, расположенных на удалении от 4 до 28 км от источника выбросов, среднегодовые значения МАЭД составляли от 0,11 до 0,15 мкЗв/ч, что не превышает уровень, уставленный ОСПОРБ-99/2010, значения МАЭД соответствуют уровню естественного фона Красноярского края.

В воздухе СЗЗ ФГУП «ГХК» обнаруживались техногенные радионуклиды: ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am. В период с 2018 по 2022г превышение объёмной активности техногенных радионуклидов не установлено. Среднегодовые значения УА техногенных радионуклидов в воде р. Енисей за анализируемый период не превышали значений, установленных НРБ-99/2009. Донные отложения р. Енисей загрязнены: ^{60}Co^{137}Cs и ^{152}Eu за счет сбросов в предыдущие годы, максимальное содержание техногенных радионуклидов регистрируется у правого берега до 28 км ниже от места сброса сточных вод ФГУП «ГХК», УА суммы радионуклидов составляла: 2018г – 0,7 кБк/кг; 2019г – 0,3 кБк/кг, 2020г – 4,3 кБк/кг; 2021г – 4,3 кБк/кг.

Таким образом, на большей территории Красноярского края радиационная обстановка оценивается как благополучная. На территории края имеются отдельные территории с повышенной техногенной радиационной опасностью, обусловленной присутствием антропогенных радионуклидов, к ним можно отнести ограниченные участки в пойме р. Енисей в Сухобузимском, Енисейском, Казачинском районах.

Дополнительное антропогенное радиоактивное загрязнение может оказать значительное воздействие на радиоэкологический статус агроландшафтов. Агроландшафты за пределами ЗН имеют только глобальное загрязнение, их статус оценивается как удовлетворительный.

3.2 Эколого-радиоэкологическое обследование агроландшафтов центральных районов Красноярского края

*3.2.1 Радиоэкологическое тестирование почв. Зн*ачения pH, гумуса и содержания макроэлементов в почвах тестируемых сенокосно-пастбищных агробиоценозов агроландшафтов с разной техногенной нагрузкой находились в одном диапазоне изменчивости: pH – 6,83±0,25, гумус – 5,44 ±0,76%, кальций – 9437,5±815,63мг/кг, подвижный калий – 93,10±10,47 мг/кг, подвижный фосфор – 118,97±14,72, поэтому можно ожидать идентичной миграционной активности Cs в тестируемых почвах.

Среднее значение гамма-фона в тестируемых аграрных ландшафтах укладывается в значения, типичные для территории Красноярского края (табл.2), таким образом опытные агроландшафты не являются аномальными по уровню гамма-фона. УА^{137}Cs в почвах контрольного агроландшафта входят в диапазон значений, характерный для центральных районов края – 1,2-38,1 Бк/кг [Атлас современной радиационной обстановки Красноярского края 2019]. УА ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов 1-го опытного ландшафта в 19 раз, 2-го опытного в 8 раз превышает (P<0,001) показатель контрольного агроландшафта (табл.2). Среднее значение УА ^{137}Cs в почвах опытных агроландшафтов превышает средний показатель по краю и на основании региональных нормативов «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края» принадлежит уровню «регистрации», максимальные значения позволяют отнести отдельные агробиоценозы к территории уровня «исследования», где по требованиям региональных нормативов требуется исследование природы и источника загрязнения. В случае установления техногенной природы загрязнения организуется мониторинг радиационной обстановки и принимаются меры по ограничению дополнительного облучения населения.

Таблица 2 – Радиоэкологическая характеристика почв сенокосно-пастбищных биогеоценозов

Показатели	Поглощенная доза, мГр/год		
	0,92	1,33	1,55
Площадь гамма-съемки, га	1500	0,25	0,261
Количество точек гамма-съемки	469	238	224
Диапазон МАЭД, нЗв/ч	8…14	10…35	10…34
МАЭД, нЗв/ч	10,48±0,06	18,89±0,42***	17,1±0,42***
Количество проб	57	30	49
Диапазон УА ^{137}Cs в почвах, Бк/кг	3,4…12,5	14,1…986,0[1]	5,0…433,0[2)]
УА ^{137}Cs в почвах, Бк/кг	6,43±1,92	284,17±36,30***	120,81±18,66***
Диапазон УА ^{60}Co в почвах, Бк/кг	2,4…7,0	3,0…13,0	2,4…167,0
УА ^{60}Co, Бк/кг	5,58±0,62	6,05±0,36	41,17±7,02***
Диапазон УА ^{152}Eu в почвах, Бк/кг	менее 5	8,0…43,0	8,0…206,0
УА ^{152}Eu, Бк/кг	менее 5	14,98±1,80***	108,03±20,10***

[1] Величина 986,0 Бк/кг не учитывалась в расчетах на основании единичного

[2] Величина 433,0 Бк/кг не учитывалась в расчетах на основании единичного

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

УА ^{60}Co в почвах 1-го опытного ландшафта не отличалась от значений контроля, что свидетельствовало о наличии только глобального загрязнения ^{60}Co почв этой территории. УА ^{60}Co в почвах 2-го опытного ландшафта в 7,4 раза превышала значение по контрольному ландшафту (P<0,001). УА ^{152}Eu в почвах 1-го опытного ландшафта в 3 раза, а 2-го – в 21,6 раз выше, чем в контрольном (P<0,001). Это подтверждает гипотезу о наличии дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв отдельных агроландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

Оценка радиоэкологической обстановки агроландшафтов проводилась на основе расчета плотности загрязнения почвы. В контрольном агроландшафте плотность составила 0,04 Ku/км^2, что соответствует данным техногенного загрязнения всего Красноярского края (0,08 Ku/км^2). В 1-ом опытном агроландшафте плотность – 1,84 Ku/км^2, во 2-ом – 0,78 Ku/км^2, что в 46 и 19 раз соответственно превышает показатель по контрольному агроландшафту (P<0,001). Однако полученные значения не превышают значения нормативных документов РФ [Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия 1992], согласно этому документу экологическую обстановку в опытных агроландшафтах можно отнести к «относительно удовлетворительной».

Распределение результатов значений УА ^{137}Cs в почвах контрольного агроландшафта ограничены интервалом 5-15 Бк/кг, с максимумом в 10 Бк/кг, что характерно для глобального загрязнения ^{137}Cs почв края (рис.2).

Рис.2 – УА ^{137}Cs в почвах агроландшафтов

Распределение результатов содержания ^{137}Cs в почвах 1-го опытного аграрного ландшафта совмещало результаты, определяющие глобальное техногенное радиоактивное загрязнение – 15 Бк/кг и дополнительное, связанное с загрязнением поймы реки Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК» – 100 Бк/кг и более. Распределение значений УА ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов 2-го ландшафта так же комбинировало значения глобального загрязнения – до 25 Бк/кг и дополнительного техногенного загрязнения ^{137}Cs из газо-аэрозольных выбросов и загрязнения поймы р. Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК» – 75 Бк/кг и более. Рис. 2 убедительно доказывают гипотезу о присутствии дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв агроландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК». Таким образом, опытные агроландшафты выделяются по площадной активности ^{137}Cs и УА ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных

агробиоценозов.

3.2.2 Радиационная безопасность кормов. Наличие радиоактивного загрязнения почв опытных агроландшафтов формирует дополнительное радиоактивное загрязнение кормов (табл.3). УА ^{137}Cs в кормах 1-го опытного – в 6,4 раза, 2-го опытного – в 2,7 раза выше, чем в контрольном агроландшафте (P<0,05).

Таблица 3 – УА ^{137}Cs в зеленых и грубых кормах аграрных ландшафтов

Аграрные ландшафты	Удельная активность ^{137}Cs	
	Диапазон изменчивости, Бк/кг	Среднее значение, Бк/кг
контрольный (n=30)	0,53…2,60	1,08±0,16
1 опытный (n=30)	1,22…14,17	6,81±2,25*
2 опытный (n=30)	1,11…7,98	2,94±0,84*

Примечание * P<0,05

Радиоактивное техногенное загрязнение кормов 1-го опытного агроландшафта объяснялось дополнительным загрязнением почв, связанным с техногенным, загрязнем поймы р. Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК», 2-го опытного агроландшафта – загрязнением поймы реки и газо-аэрозольными выбросами ФГУП «ГХК». На основании данных, табл. 3 была рассчитана активность рациона коров. УА рациона изменялась в широких переделах: в контрольном агроландшафте – до 67,2 Бк/сут, в 1-ом опытном – 566,8 Бк/сут., во 2-ом опытном – 319,2 Бк/сут., (табл. 4), полученные данные по опытным агроландшафтам согласуются с результатами полученными на территории ЧАЭС (Ильязов Р.Г. 2011). Средняя УА рациона в стойловый период в опытных ландшафтах в 1,7 раза (P<0,05), в летний период 1-го опытного – в 7,7 раза (P<0,001), 2-го – в 3,1 раза (P<0,05) превышала данные контроля.

Таблица 4 – Содержание ^{137}Cs в суточном рационе коров аграрных ландшафтов

Агроландшафты	Период содержания	Активность рациона, Бк/сут.	
		Диапазон значений	Среднее значение
контрольный	Стойловый	6,4-18,0	12,4±2,2
	Пастбищный	36,4-67,2	48,0±9,6
1 опытный	Стойловый	14,4-27,0	21,2±3,7*
	Пастбищный	168,8-566,8	373,0±8***
2 опытный	Стойловый	13,3-32,0	22,3±4,4*
	Пастбищный	40-319,2	150,0±48,0*

Примечание * P<0,05, *** P<0,001 относительно данных контроля

3.2.3 Радиационная безопасность продукции животноводства Дополнительное техногенное загрязнение почв и кормов опытных агроландшафтов формирует радиоактивную антропогенную нагрузку на продукцию животноводства. УА ^{137}Cs в молоке коровьем в 1-ом опытном ландшафте в 8,3 раза, во 2-ом – в 6,7 раза выше относительно значений контроля (P<0,001), табл.5.

Таблица 5 – УА ^{137}Cs в молоке коровьем в ферменных биогеоценозах агроландшафтов

Аграрные ландшафты	Диапазон изменчивости, Бк/кг	Среднее значение, Бк/кг
контрольный (n=15)	0,14…0,17	0,16±0,004
1 опытный (n=15)	0,58…2,41	1,33±0,19***
2 опытный (n=15)	0,52…2,00	1,07±0,20***

Примечание *** P<0,001

Однако УА ^{137}Cs в молоке, производимом в ферменных биогеоценозах опытных агроландшафтов, значительно ниже гигиенического норматива – 100 Бк/кг [СанПиН 2.3.2.2401-08, 2008], соответственно можно заключить, что на территории Красноярского края производится безопасная в радиационном отношении молочная продукция.

3.3 Миграционная активность ^{137}Cs в компонентах аграрных ландшафтов Красноярского края.

Построение модели миграции ^{137}Cs в агроландшафтах с дополнительной техногенной радиоактивной нагрузкой требуется для прогнозирования УА ^{137}Cs в агропродукции. Моделирование учитывает уровень техногенного радиоактивного загрязнения территории и её изменение в случае повышения интенсивности газо-аэрозольных выбросов ФГУП «ГХК». Миграция ^{137}Cs оценена с помощью коэффициентов накопления ($К_н$), перехода ($К_п$), кратности накопления (F) в продукции животноводства. Расчет произведен на стойловый период содержания, при расчете использовали средние значения УА ^{137}Cs в почве (табл.2), в кормах (табл.3) и в молоке (табл. 5).

Значения $К_н$ ^{137}Cs многолетними растениями и $К_п$ ^{137}Cs в продукцию животноводства в 1-ом и 2-ом опытных агроландшафтах совпадают с данными, приводимыми в научных публикациях (Кимаковская Н.А. и др., 2014; Ларионова Н.В. и др. 2013; Окунев А.М., 2018; Sandalls S and etc, 1992], но впервые они имеют численные значения, характерные для изучаемых аграрных ландшафтов, (табл.6). При изменении радиоэкологической ситуации они необходимы для оценки перехода ^{137}Cs между звеньями миграции.

Таблица 6 – Показатели миграции ^{137}Cs в компонентах аграрных ландшафтов

Аграрный ландшафт	Звено миграции	Показатель	Значение
1-ый опытный	Почва – корма	$К_н$	0,02
	Корма – молоко коровье	$К_п$	0,19
		F	0,39
2-ой опытный	Почва – корма	$К_н$	0,02
	Корма – молоко коровье	$К_п$	0,46
		F	0,73

В 1-ом опытном агроландшафте выявлена тесная линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену между УА ^{137}Cs в почвах и кормах (r = 0,95) и умеренная корреляционная связь между УА ^{137}Cs в кормах и молоке коровьем (r = 0,96). Во 2-ом опытном агроландшафте установлена тесная прямая линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену между УА ^{137}Cs в почвах и кормах (r = 0,89) и тесная прямая взаимосвязь между УА ^{137}Cs в кормах и молоке коровьем(r = 0,94).

Определение количественной оценки УА ^{137}Cs в звеньях миграционной цепи установлено с помощью регрессионного анализа. Для 1-го опытного аграрного ландшафта определены уравнения линейной регрессии, позволяющие определить УА ^{137}Cs (y) в кормах, при известной УА ^{137}Cs (x) в почвах: $y = 0{,}0414x - 3{,}0385$, УА молока коровьего (y) при известной УА ^{137}Cs (x) в кормах: $y = 0{,}0981x + 0{,}6893$.

Для 2-го аграрного ландшафта уравнение, позволяющее рассчитать УА ^{137}Cs (y) в кормах, при известной УА ^{137}Cs в почвах (x) имело вид: $y = 0{,}0202x + 0{,}1885$, для

расчета УА молока (y) при известной УА ^{137}Cs (x) в кормах: $y = 0{,}1803x + 0{,}5483$.

В результате работы по оценке миграционной активности ^{137}Cs в цепи «почва – корма – продукция животноводства» в агроландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением выявлены коэффициенты миграции ^{137}Cs. Определено, что УА ^{137}Cs в почвах агроландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой может быть использована как объективный показатель УА ^{137}Cs в агропродукции. Это имеет практическую ценность, применение уравнений линейной регрессии позволяет прогнозировать степень радиационной опасности продукции животноводства. В результате есть возможность выбора, подбора, замены сенокосно-пастбищных агробиоценозов в агроландшафтах с техногенной нагрузкой для производства радиационно-чистой агропродукции.

3.4 Дозовая нагрузка на с.-х животных в агроландшафтах Красноярского края

Ветеринарные правила ВП 13.73.13/12-00 «Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения животных на территории, загрязненной радионуклидами» используются при расчетах уровней облучения животных, находящихся на территории, загрязненной техногенными радионуклидами. Данная методика полностью применима к расчету уровней облучения животных на территории, подвергшейся воздействию радиоактивного заражения вследствие ядерных взрывов, ядерных аварий и др. процессов, связанных с неконтролируемым распространением техногенных радионуклидов. Эта методика не может быть полностью перенесена на условия существования животных в Красноярском крае. Нами предложена методика расчета годовой поглощенной дозы облучения с.-х. животных Красноярского края [Федотова 2022]. Согласно методике для расчета годовой поглощенной дозы необходимы данные: среднее значение мощности поглощенной дозы гамма-излучения на пастбищном участке и в животноводческом помещении, УА ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{60}Co в кормах.

Животные имели близкий по составу рацион, отличием являлась УА ^{137}Cs, которая в траве контрольного ландшафта составила 1,20±0,24 Бк/кг; 1-го опытного ландшафта – 9,33±2,05 Бк/кг; 2-го опытного – 3,75±1,21 Бк/кг. УА ^{137}Cs в сене разнотравном в контрольном агроландшафте составляла 1,03±0,18 Бк/кг., в 1-ом опытном – 1,77±0,44 Бк/кг, во 2-ом опытном – 1,86±0,45 Бк/кг. Вклад в годовую поглощенную дозу внутренней и внешней дозы облучения животных, табл.7.

Таблица 7 – Состав годовой поглощенной дозы для сельскохозяйственных животных

Составляющие поглощенной дозы, мГр	Аграрные ландшафты		
	контрольный	1 опытный	2 опытный
Внешнее облучение в пастбищный период в светлое время суток, мГр/год	0,15	0,35	0,37
Внешнее облучение в пастбищный период в ночное время, мГр/год	0,14	0,19	0,23
Внешнее облучение в стойловый период, мГр/год	0,62	0,78	0,94
Внутренне облучение в пастбищный период, мГр/год	0,004	0,009	0,004
Внутренне облучение в стойловый период, мГр/год	0,001	0,002	0,002
Суммарная годовая поглощенная доза, мГр/год	**0,92**	**1,33**	**1,55**

Доза облучения отличалась значениями внешнего и внутреннего облучения в пастбищный период, в светлое время суток. Внешнее облучение определяется различным γ-фоном на пастбищных участках, внутреннее облучение – различной УА ^{137}Cs в зеленом корме. В результате расчета доз облучения установлено, что в контрольном агроландшафте величина дозы техногенного воздействия находится в пределах значений, характеризующих глобальный техногенный фон. В 1-ом и 2-ом опытных агроландшафтах значения доз облучения в 1,4 и 1,7 раза соответственно превышают значения по контрольному агроландшафту. Согласно данным научного комитета по атомной энергии при ООН, дозы 1,33 и 1,55 мГр/год относятся к диапазону значений сверхмалых доз.

3.5 Радиобиологические эффекты субклинических поглощенных доз ионизирующего излучения в организме сельскохозяйственных животных

Животные, находящиеся в ферменных биогеоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр/год, являлись контрольными. В агроландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением животные имели суммарную дозу 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год, средний возраст коров в ферменных агробиоценозах с дозой 0,92 мГр/год составил 57,6±3,55 мес.; с дозой 1,33 мГр/год – 76,35±8,87 мес.; с дозой 1,55 мГр/год – 59,27±6,8 мес. Средний возраст овец в аграрных ландшафтах с дозой 0,92 мГр/год составил 30,53±2,82 мес., с дозой 1,55 мГр/год – 31,2±4,15 мес. В агробиоценозе с дозой 1,33 мГр/год овцы не содержались. Возраст всех исследованных животных не имел статистически достоверных отличий и находился в одном диапазоне изменчивости.

3.5.1 Клиническое состояние животных. Коровы соматически здоровы, животные спокойные, аппетит умеренный, кожный покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, поверхностные лимфатические узлы (подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные) не увеличены, подвижны и безболезненны. Слизистые оболочки ротовой полости часто пигментированы, розового цвета. Жвачка присутствует, сокращение рубца 2,87±0,83 раза за 2 мин. Температура тела 38,34±0,76ºС, ЧСС – 77±8,9 ударов в минуту, частота дыхания – 17,6±6,5 мин. Коровы имели упитанность 3,5-3,75 ед. по Э. Уайлдману, в соответствие с ГОСТ Р 54315-2011 имели 1-ю категорию упитанности. Овцы соматически здоровы, согласно ГОСТ 31777-2012 имели 1-ю категорию упитанности, температура тела – 39,23±0,23ºС, частота пульса – 67±8,9 ударов в мин., частота дыхания – 15,69±4,93. Животные спокойные, аппетит сохранен, кожный покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные лимфатические узлы не увеличены и подвижны. Видимые слизистые оболочки без повреждений, жвачка присутствует, сокращение рубца 4,38±0,92 раза в 2 мин.

3.5.2 Морфобиохимические изменения в крови коров при субклинических дозах. У коров, находящихся под действием субклинических поглощенных доз (1,33 и 1,55 мГр/год), в крови выявлено достоверное увеличение количества эритроцитов в среднем на 29-33% относительно контроля ($P<0,001$), рост содержания эритроцитов, по нашему мнению, обусловлен стимулирующим действием малых доз ИИ на функциональные способности красного костного мозга к эритропоэзу (табл. 8). Под влиянием субклинической дозы облучения 1,33 мГр/год увеличилось содержание гемоглобина более чем на 20% относительно контроля ($P<0,01$). При поглощенной дозе 1,55 мГр/год показатели СОЭ увеличились в 2,7 раза относительно контроля ($P<0,001$).

Исследования показали отсутствие значительного влияния субклинических доз на общее содержание лейкоцитов в крови лактирующих коров. В лейкоцитарном профиле крови коров установлен лимфоцитоз: при дозе 1,33 мГр/год уровень лимфоцитов увеличился на 6,4% (P<0,01), при дозе 1,55 мГр/год – на 7,7% (P<0,01) по отношению к контролю (табл. 9). Наряду с лимфоцитозом установлена моноцитопения: при дозе 1,33 мГр/год снижение в 2,3 раза (P<0,01), при дозе в 1,55 мГр/год – в 1,7 раза по сравнению с контролем (P<0,05).

Таблица 8 – Гематологические показатели периферической крови коров

Гематологические показатели	Референсные значения[3]	Поглощенная доза, мГр/год		
		0,92 (n=41)	1,33 (n=38)	1,55 (n=31)
Лейкоциты, $\times 10^9$ клеток/л	4,5-12	7,07±0,29	6,89±0,34	6,94±0,57
Гемоглобин, г/л	90-120	84,28±2,96	101,29±4,48**	80,04±3,74
Эритроциты, $\times 10^{12}$ клеток/л	5-7,5	4,43±0,23	5,90±0,29***	5,72±0,29***
СОЭ, мм/час	0,6-0,8	0,62±0,08	0,78±0,09	0,23±0,06***

**P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

В популяции нейтрофильных гранулоцитов возрастало относительное содержание юных и палочкоядерных форм нейтрофилов при уменьшении сегментоядерных нейтрофилов. Относительное содержание юных нейтрофилов увеличилось при дозе в 1,33 мГр/год в 3,7 раза, при дозе 1,55 мГр/год – в 2,4 раза (P<0,001) относительно контроля. Относительное содержание палочкоядерных нейтрофилов при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год повысилось в 1,7 раза (P<0,01), при одновременном эквивалентном падении уровня сегментоядерных нейтрофилов по сравнению с контрольными значениями (P<0,01). Увеличение относительного содержания незрелых форм нейтрофильных гранулоцитов указывало на сдвиг лейкоцитарного профиля периферической крови крупного рогатого скота влево. При воздействии малых доз не выявлено изменение относительного и содержания базофилов и эозинофилов.

Таблица 9 – Содержание лейкоцитов крови коров при малых поглощенных дозах ИИ

Клетки крови		Поглощенная доза, мГр/год		
		0,92 (n=42)	1,33(n=42)	1,55(n=23)
Базофилы,%[4]		1,58±0,09	1,29±0,14	1,64±0,10
Эозинофилы,%		8,15±0,59	9,50±0,90	7,40±1,11
Нейтрофилы,%	Ю	1,07±0,04	3,99±0,65***	2,57±0,24***
	П	3,66±0,21	6,09±0,80**	6,05±0,87**
	С	24,34±1,02	13,65±1,78***	14,14±1,25***
Лимфоциты,%		58,83±1,46	65,23±1,87**	66,52±2,14**
Моноциты,%		4,06±0,67	1,78±0,35**	2,33±0,23*

**P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

[3] Амиров, Д.Р. Клиническая гематология животных: Учебное пособие / Д.Р. Амиров, Б.Ф. Тамимдаров, А.Р. Шагеева. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, – 2020. – 126– С.129-132.

[4] Референсные значения лейкоцитарной формулы: базофилы 0-2%; эозинофилы 3-8%; нейтрофилы: юные 0-1%, палочкоядерные 2-5%, сегментоядерные 20-35%; лимфоциты 40-65%; моноциты 2-7%. (Амиров Д.Р., 2020)

При поглощенных дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год фагоцитарная активность лейкоцитов снижалась на 16% (P<0,05) по сравнению с контролем (29,87±1,35%).

При воздействии ИИ на организм животных в дозе 1,33 мГр/год в сыворотке крови увеличивался уровень щелочной фосфатазы в 1,6 раза (P<0,01), при дозе 1,55 мГр/год – в 1,5 раза (P<0,05) (табл. 10).

Таблица 10 – Биохимические показатели периферической крови лактирующих коров при малых поглощенных дозах

Биохимические показатели[5]	Поглощенная доза, мГр/год		
	0,92 (n=42)	1,33(n=42)	1,55(n=23)
Резервная щелочность мг%	437,36±7,25	464,4±9,35	440,52±14,72
Щелочная фосфатаза нмоль/с×л	423,76±80,57	810,29±120,81**	654,31±62,58*
АСТ, мкмоль/(с×л)	0,20±0,01	0,10±0,002**	0,21±0,01
АЛТ, мкмоль/(с×л)	0,03±0,004	0,12±0,02***	0,01±0,004**
Креатинин, ммоль/л	82,42±5,24	100,25±4,74*	88,14±5,23
Кальций общий, ммоль/л	2,41±0,04	2,24±0,07*	2,20±0,08*
Фосфор неорганический, ммоль/л	2,22±0,05	1,97±0,16	1,97±0,17
Общий белок, г/л	82,49±3,13	80,08±2,03	74,35±2,33*
Альбумин, %	43,95±1,08	48,60±1,42*	50,26±1,38***
альфа-глобулин,%	9,96±0,71	10,80±0,5	10,54±0,55
бета-глобулин, %	19,52±0,91	19,52±0,76	17,99±1,19
гамма-глобулин,%	26,52±1,44	21,01±1,42**	21,22±1,95*

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к дозе 0,92мГр/год

Содержание кальция уменьшалось при дозе 1,33 мГр/год на 8% (P<0,05), при дозе 1,55 мГр/год – на 0 9,5% (P<0,05) относительно контроля. При дозе 1,33 мГр/год снижалась АСТ в 2 раза (P<0,01) по сравнению с контролем, однако при дозе 1,55 мГр/год активность АСТ восстанавливалась до контрольных значений. Уровень АЛТ при дозе 1,33 мГр/год увеличивался в 4 раза (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год снижался в 3 раза (P<0,01) относительно контроля. Под влиянием дозы 1,33 мГр/год увеличивалось содержание креатинина на 21%(P<0,05), при дозе 1,55 мГр/год на 7% относительно контроля.

При дозе 1,33 мГр/год выявлена тенденция к уменьшению концентрации общего белка на 3%, при дозе 1,55 мГр/год на 10% (P<0,05) относительно контроля. Относительное содержание альбуминов в крови животных при малых дозах увеличивалось: при дозе 1,33 мГр/год на 10,62% (P<0,05), при дозе 1,55 мГр/год – на 14,36% относительно контроля(P<0,001). Содержание альфа и бета-глобулинов в крови животных во всех группах принадлежало своему диапазону изменчивости и статистически не отличалось от значений контроля. Воздействие ИИ в малых дозах снижало концентрацию гамма-глобулинов на 20%(P<0,01), это расценивалось нами как свидетельство уменьшения иммунобиологической реактивности организма животных (табл. 9).

Таким образом, ИИ в малых дозах (1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год) влияло на гематологические показатели, функциональное состояние фагоцитов крови и некоторые

[5] Референсные значения биохимических показателей: резервная щелочность 460-580 мг%, щелочная фосфатаза 429-510 нмоль/с×л, АСТ 0,2-0,32 мкмоль/(с×л), АЛТ 0,1-0,3 мкмоль/(с×л), креатинин 88-177 ммоль/л, кальций 2,5-3,1 ммоль/л, фосфор 1,45-2,1ммоль/л, общий белок 60-85 г/л, альбумин 35-50%, альфа-глобулин 10-20 %, бета-глобулин 10-18 %, гамма-глобулин 25-40%. (Кондрахин И.П., 2004)

показатели обмена веществ. Изменения гематологических показателей характеризовалось умеренным эритроцитозом, лимфоцитозом, моноцитопенией и выбросом в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов, что указывало на умеренную стимуляцию функциональной активности гемопоэза красного костного мозга. Субклинические дозы ИИ негативно влияли на функциональные способности фагоцитов крови, подавляя фагоцитарную активность лейкоцитов. Изменения биохимических показателей носили разновекторный характер, об этом свидетельствовало увеличение уровня щелочной фосфатазы, креатинина и альбуминов, снижение содержания общего белка, в том числе за счет уменьшения количества гамма-глобулинов, изменение концентрации АЛТ и АСТ.

3.5.3 Морфобиохимические и иммунологические изменения в крови овец при субклинических дозах. В периферической крови овец, находящихся под действием поглощенной дозы 1,55 мГр/год выявлено увеличение количества лейкоцитов на 21%, (P<0,01), эритроцитов на 29% (P<0,05) относительно контроля (табл.11).

Таблица 11 – Гематологические показатели периферической крови овец при малых поглощенных дозах облучения

Гематологические показатели	Референсные значения[6]	Поглощенная доза, мГр/год	
		0,92 (n=31)	1,55(n=18)
Лейкоциты, ×109 клеток/л	6,4-10,00	6,48±0,28	7,83±0,40**
Гемоглобин, г/л	54-80	73,61±6,10	59,06±2,90*
Гематокрит, %	25-45	22,99±2,67	18,63±1,70
Эритроциты, ×1012 клеток/л	6,0-12,00	5,25 ± 0,38	6,78±0,51*
СОЭ, мм/час	0,3-1,0	0,22 ±0,02	0,51±0,11*

**P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Увеличение количества лейкоцитов и эритроцитов, по нашему мнению, обусловлено стимулирующим влиянием малых доз на органы гемопоэза у овец. Воздействие малых доз вызвало снижение уровня гемоглобина: при дозе 1,55 мГр/год на 19,8% по сравнению с контролем (P<0,05), аналогичное снижение гемоглобина при дозе 1,55 мГр/год наблюдалось у коров. Снижение гемоглобина сопровождалось снижением показателей гематокрита на 19-22%. К негативным последствиям влияния ИИ в дозе в 1,55 мГр/год можно отнести увеличение СОЭ в 2,3 раза относительно контроля (P<0,05).

Малые дозы ИИ облучения влияли на лейкоцитарный профиль крови овец (табл. 12), относительное содержание эозинофилов при дозе 1,55 мГр/год снижалось на 48%, количество моноцитов уменьшалось на 34,6% по сравнению с контролем (P<0,001).

При воздействии дозы 1,55 мГр/год в крови животных развивался лимфоцитоз, что характеризовалось увеличением относительного содержания лимфоцитов на 24,7% по сравнению с контролем (P<0,05). Под влиянием ИИ в дозе 1,55 мГр/год в популяции лейкоцитов увеличивалось содержание юных форм нейтрофилов более чем в два раза по сравнению с контролем (P<0,001), содержание палочкоядерных нейтрофилов возрастало в 1,3 раза (P<0,05), при одновременном снижении числа сегментоядерных нейтрофилов в 1,4 раза по сравнению с контролем (P<0,05). Увеличение содержания незрелых форм нейтрофилов свидетельствует о сдвиге лейкоцитарного профиля

[6] (Амиров Д.Р., 2020)

периферической крови овец влево и выбросе из костного мозга незрелых форм нейтрофилов.

Таблица 12 – Содержание лейкоцитов крови овец при субклинических дозах облучения

Клетки крови		Поглощенная доза, мГр	
		0,92 (n=31)	1,55(n=18)
Базофилы[7],%		1,67±0,12	1,00±0,01
Эозинофилы,%		6,35±0,39	3,28±0,36***
Нейтрофилы,%	Ю	1,35±0,11	2,78±0,35***
	П	4,09±0,36	5,28±0,41*
	С	41,41±2,92	29,89±4,42*
Лимфоциты,%		44,95±3,10	56,06±4,51*
Моноциты,%		2,14±0,25	1,40±0,12***

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Изменение относительного содержания разных форм нейтрофилов у овец при малых поглощенных дозах идентично изменениям у крупного рогатого скота (табл.9).

Фагоцитарный индекс (ФИ) лейкоцитов у овец при дозе 1,55 мГр/год составил 24,47±3,34%, что в 1,6 раза ниже, чем в контрольной группе – 24,47±2,59%(P<0,01). Это свидетельствует о негативном влиянии малых доз на функциональные возможности фагоцитов крови, которые реализуют неспецифическую резистентность организма.

В сыворотке крови овец при влиянии ИИ в дозе 1,55 мГр/год установлено: уменьшение содержания щелочной фосфатазы на 57,2% (P<0,05), увеличение концентрации кальция в 1,2 раза (P<0,05), снижение содержания АСТ на 21,2%(P<0,05), уменьшение содержания креатинина на 22,6 % (P<0,01), увеличение количества общего белка на 29 % (P<0,01) по сравнению с данными контроля (табл. 13).

Таблица 13 – Биохимические показатели крови овец при малых поглощенных дозах ИИ

Биохимические показатели	Поглощенная доза, мГр/год	
	0,92 (n=31)	1,55(n=18)
Резервная щелочность мг%	429,93 ±7,93	450,00±13,78
Щелочная фосфатаза, нмоль/с×л	2156,24±360,77	1233,77±226,92*
АСТ, мкмоль/(с×л)	0,33±0,02	0,26±0,02*
АЛТ, мкмоль/(с×л)	0,02±0,01	0,04±0,01
Креатинин, ммоль/л	93,99±3,99	72,78±3,36**
Кальций, ммоль/л	2,04±0,12	2,43±0,09*
Фосфор, ммоль/л	1,96±0,09	2,02±0,12
Общий белок, г/л	58,56±4,99	75,54±3,12**
Альбумин, %	49,97±2,19	47,41±2,40
альфа-глобулин,%	8,17±0,48	9,40±0,53
бета-глобулин, %	12,98±0,81	12,68±0,42
гамма-глобулин,%	28,88±1,72	30,51±2,14

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

[7] Референсные значения лейкоцитарной формулы, мелкого рогатого скота согласно Амирову Д.Р. (2020): базофилы 0-1%; эозинофилы 4-12%; нейтрофилы: юные 0-2%, палочкоядерные 3-6%, сегментоядерные 35-45%; лимфоциты 40-50%; моноциты 2-5%.

Таким образом, ИИ в дозе 1,55 мГр/год влияет на гематологические показатели, функциональное состояние фагоцитов крови и некоторые показатели обмена веществ, о чем свидетельствует развитие умеренного лейкоцитоза и эритроцитоза, подавление фагоцитарной активности лейкоцитов, изменение лейкоцитарного профиля крови, что характеризуется моноцито-, базофило- и эозинопенией, лимфоцитозом и выбросом в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов. Повышение количества эритроцитов сопровождается снижением уровня гемоглобина и гематокрита, что указывает на несовершенство эритропоэза в красном костном мозге. Колебания биохимических показателей сыворотки крови овец носят разнонаправленный характер, на что указывало увеличение концентрации кальция и общего белка, но снижение щелочной фосфатазы, АСТ, креатинина.

3.5.4 Состояние свободнорадикальных процессов в клетках крови коров при субклинических дозах облучения. Малые дозы ИИ не вызывают в организме животных видимых изменений клинического состояния или критически значимых сдвигов морфобиохимических показателей крови, о чем свидетельствуют результаты наших исследований. Однако существует ХЛ анализ, с помощью которого можно выявить тонкие колебания функционального состояния клеток крови, реализующих защитные механизмы неспецифической резистентности организма, на молекулярном уровне.

Кинетика генерации свободных радикалов. Состояние свободнорадикальных процессов, протекающих в клетках крови коров при субклинических дозах ИИ, оценено ХЛ методом по кинетике спонтанной и антигенактивированной «in vitro» частицами латекса продукции первичных (люцигенинзависимых) и вторичных (люминолзависимых) АФК. В работе оценено суммарное количество образованных радикалов за время ХЛ реакции (S, млн. имп. за 180 мин.); индекс активации (ИА, усл.ед.) как отношение светосуммы АФК активированной и спонтанной ХЛ.

Кинетика генерации первичных и вторичных АФК клетками венозной крови коров во всех группах характеризовалась двумя пиками максимальной активности и имела специфические особенности при дозовой нагрузке (рис.3 и рис.4). Первый пик максимальной интенсивности спонтанной генерации первичных АФК клетками крови при дозе 1,33 мГр/год превышал контрольные значения, а при дозе 1,55 мГр/год незначительно отставал от них (рис. 3 А).

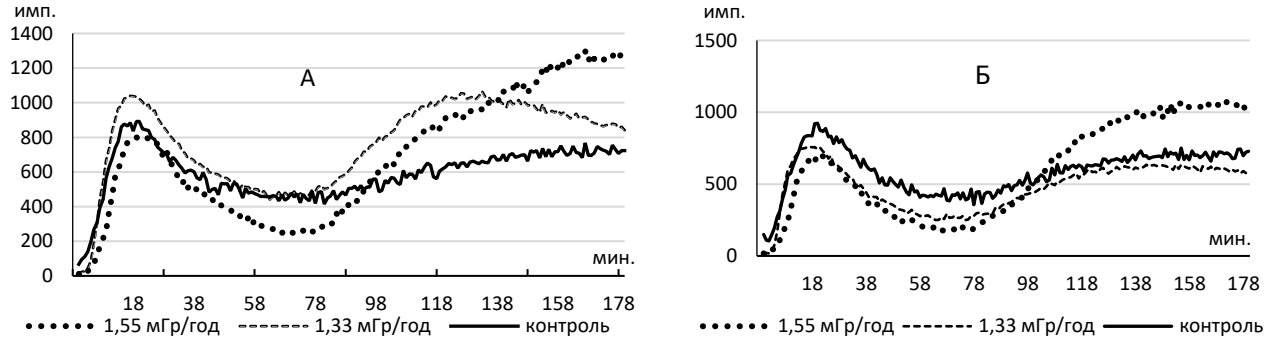

Рис. 3. Кинетика спонтанной (А) и активированной (Б) генерации первичных АФК клетками крови коров при субклинических дозах

Последующее снижение интенсивности ХЛ реакции наблюдалось во всех группах на 58-78 мин., однако наиболее ярко это проявилось при дозе 1,55 мГр/год. Второй пик активности спонтанной продукции первичных АФК характеризовался выраженной дозовой зависимостью и превышал показатели контроля при дозе 1,33 мГр/год и, особенно, при дозе 1,55 мГр/год. Аналогичные закономерности наблюдались при

генерации свободных радикалов клетками крови, активированными частицами латекса (рис.3 Б). Второй пик спонтанной и активированной генерации первичных АФК клетками крови животных при дозе 1,55 мГр/год заметно выше вторых пиков при дозе 1,33 мГр/год относительно контрольных значений.

Кинетика образования вторичных АФК отличалась от кинетики генерации первичных АФК как при спонтанной, так и активированной ХЛ реакции. Это характеризовалось слабовыраженными первыми пиками максимальной интенсивности при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год в отличие от контроля и низкими вторыми пиками максимальной продукции АФК во всех группах (рис.4), что свидетельствовало о подавлении свободнорадикальных процессов, связанных с генерацией вторичных АФК.

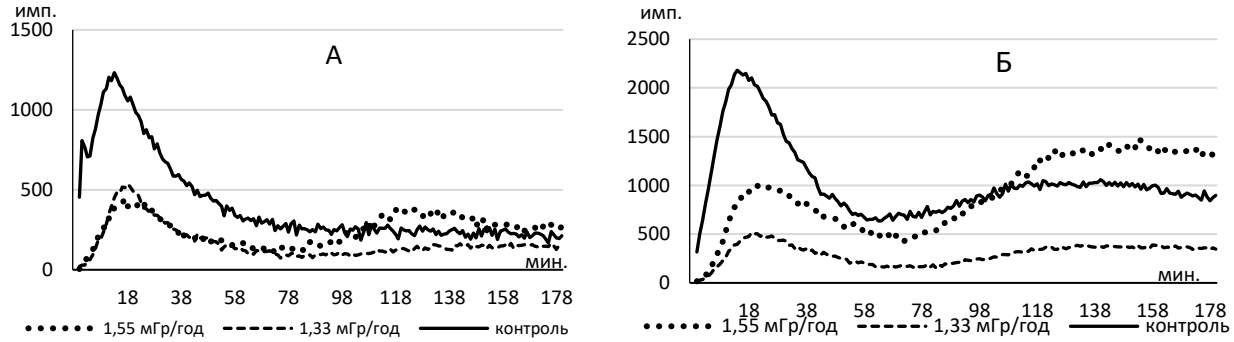

Рис.4. Кинетика спонтанной (А) и активированной (Б) генерации вторичных АФК клетками крови коров

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). Субклинические дозы ИИ вызывали рост суммарных объемов АФК при спонтанной продукции всех видов свободных АФК клетками крови, находящимися в состоянии «покоя». При малых дозах светосумма первичных АФК, образованных за время регистрации спонтанной ХЛ-реакции, в 1,46-1,51 раза превышала контрольные показатели. Достоверность отличий от контроля при дозе 1,33 мГр/год составила P<0,01 и при дозе 1,55 мГр/год – P<0,001. В то же время суммарное количество образованных первичных радикалов не имело межгрупповых различий при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год (рис.5).

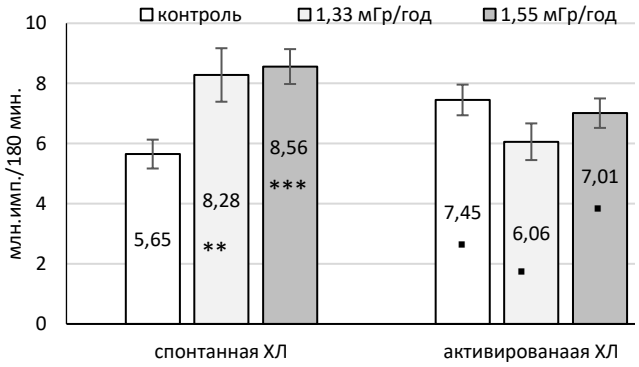

*Рис. 5.Светосумма первичных АФК, продуцированных клетками крови коров: ** P<0,01; *** P<0,001 относительно контроля; ▪ P<0,01 относительно спонтанной продукции*

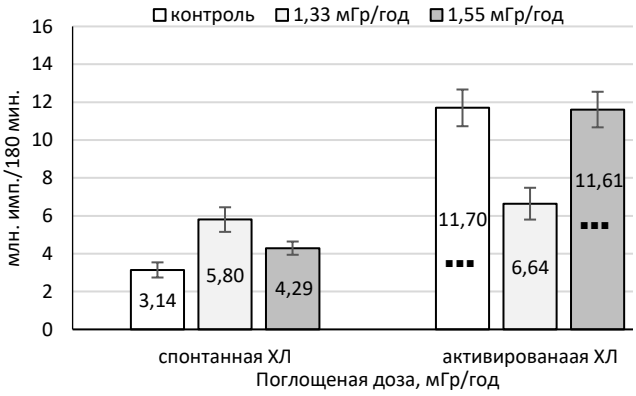

*Рис.6.Светосумма вторичных АФК, генерируемых клетками крови коров: **P<0,01; ***P<0,001 относительно контроля; ▪▪▪ P<0,001 относительно спонтанной продукции*

Малые дозы ИИ негативно влияли на показатели суммарной продукции антигенактивированных АФК по сравнению с контролем. В контроле стимуляция фагоцитов крови частицами латекса обусловила достоверный рост суммарных объемов АФК в 1,3 раза относительно спонтанной продукции АФК (P<0,05), при дозе 1,33 мГр/год наблюдалось сокращение антигенактивированной генерации первичных АФК в 1,4 раза по сравнению со спонтанной продукцией (P<0,05), при поглощенной дозе 1,55 мГр/год снижение активированных первичных радикалов на 18 % по сравнению со спонтанной ХЛ при этой дозе (рис. 6)

Суммарное количество вторичных АФК, генерирующихся при спонтанной ХЛ-реакции в крови коров, при субклинических дозах достоверно выше по сравнению с контролем (рис.6), при поглощенной дозе 1,33 мГр/год спонтанная суммарная продукция вторичных АФК увеличилась в 1,8 раза (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год – в 1,4 раза (P<0,01) по сравнению с контролем. Антигенная активация клеток крови «in vitro» частицами латекса потенцировала прооксидантные реакции при генерации вторичных АФК, о чем свидетельствовал рост суммарных объемов АФК во всех группах. При антигенной стимуляции в контрольных пробах светосумма увеличилась в 3,7 раза относительно спонтанной генерации (P<0,001). При дозе 1,33 мГр/год выявлена тенденция к росту количества антигенстимулированных АФК (увеличение на 14%), при дозе 1,55 мГр/год светосумма превышала спонтанную генерацию в 2,7 раза (P<0,001).

Таким образом, малые дозы стимулируют интенсивность свободнорадикальных процессов в клетках крови, находящихся в состоянии «покоя», что проявляется ростом суммарных объемов, спонтанных АФК и подавляют генерацию свободных кислородных радикалов у клеток, стимулированных латексом.

Индекс активации (ИА, усл.ед.). На основании данных о суммарных объемах АФК при активированной и спонтанной ХЛ-реакции, рассчитан индекс активации (ИА).Субклинические дозы ИИ негативно влияли на показатели ИА при генерации всех форм АФК, о чем свидетельствовало снижение показателей ИА при образовании первичных и вторичных радикалов. Показатели ИА первичных радикалов при поглощенной дозе 1,33 мГр/год уменьшались на 44,7 % (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год – на 37,9 % (P<0,01) относительно контроля. При генерации вторичных свободных радикалов показатели ИА сократились на 69,4% при дозе 1,33 мГр/год (P<0,001) и на 27,6% при дозе 1,55 мГр/год (P<0,05). При действии малых доз ИИ снижался индекс активации процесса образования первичных и вторичных радикалов, что указывало на снижение резервных возможностей лейкоцитов крови.

Таким образом, субклинические дозы ИИ разнонаправленно влияют на свободнорадикальные процессы, протекающие в клетках крови, как находящихся в состоянии «покоя», так и стимулированных частицами латекса. При действии малых поглощенных доз ИИ клеткам периферической крови лактирующих коров в состоянии покоя требуется больше времени на формирование респираторного взрыва, что может негативно влиять на неспецифическую резистентность организма. Низкая максимальная интенсивность респираторного взрыва в первые минуты спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов является доказательством низкой реактивности клеток крови. Субклинические дозы ИИ увеличивают суммарные объемы спонтанной генерации и снижают продукцию антигенактивированного образования первичных и вторичных АФК. Большие объемы свободных АФК, выделенных клетками, находящимися в состоянии покоя, могут нести потенциальную угрозу повреждения клеточных структур и явиться пусковым механизмом развития патологий разного генеза. При активированной ХЛ реакции субклинические дозы облучения

подавляют интенсивность продукции АФК и их суммарные объемы, что ведет к снижению индекса активации, это указывает на снижение функциональных возможностей фагоцитов крови коров адекватно отвечать на потенциальные антигенные угрозы формированием респираторного взрыва, что отрицательно скажется на естественной резистентности организма.

3.5.5 Состояние свободнорадикальных процессов в клетках крови овец при субклинических дозах. Графическое изображение генерации первичных и вторичных АФК у овец в отличие от крупного рогатого скота имеет один пик (рис.7).

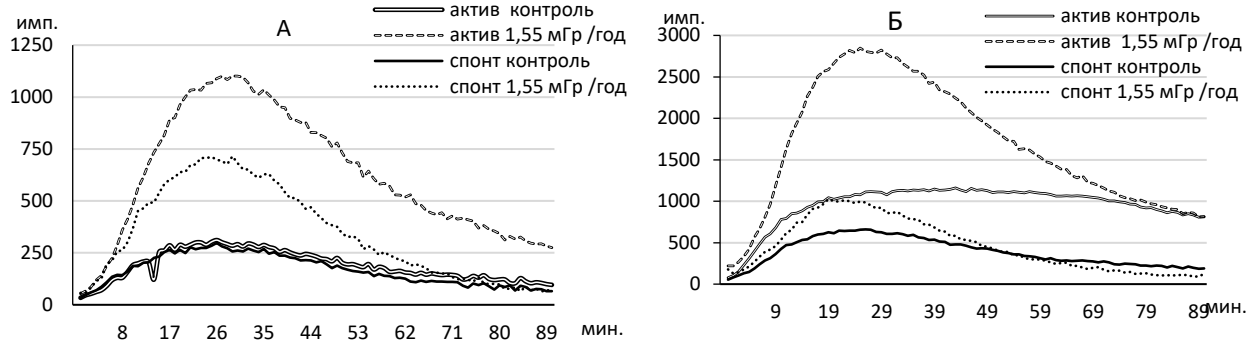

Рис. 7. Кинетика генерации первичных (А), вторичных (Б) АФК клетками крови овец

Кинетика спонтанной и активированной продукции первичных АФК в контроле представлена в виде пологих кривых, при поглощенной дозе 1,55 мГр/год имеет ярко выраженные пики, вершина которых значительно выше, чем при дозе 0,92 мГр/год. Вершина потенцированной «in vitro» ХЛ-реакции при дозе 1,55 мГр/год значительно превышает пик спонтанной генерации при этой же дозе (рис.7 А). Пик кинетики спонтанной продукции вторичных АФК при дозе 1,55 мГр/год выше, чем в контроле. Необходимо отметить, что кривые, отражающие спонтанную и антигенактивированную генерации первичных и вторичных АФК, при фоновых значениях дозы имели пологий характер в отличии от кривых, принадлежащих дозе 1,55 мГр/год (рис.8.Б).

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 90 мин.). При дозе облучения 1,55 мГр/год суммарное количество первичных АФК, спонтанно генерировавшихся в образцах крови овец, в 1,7 раза (P<0,01) превышало контрольные данные (рис.8 А).

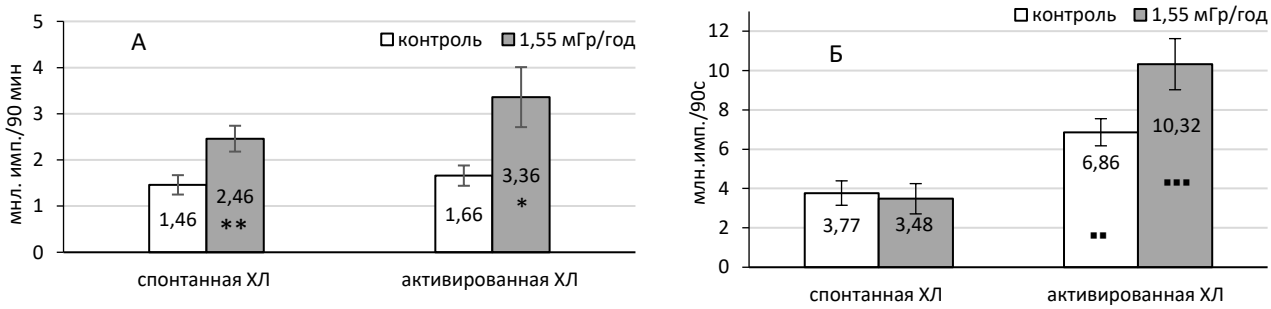

*Рис. 8. Светосумма первичных (А) и вторичных (Б) АФК клетками крови овец: *P<0,05; ***P<0,001 по отношению к контролю, ▪▪ P<0,01 относительно спонтанной продукции ▪▪▪ P<0,001 относительно спонтанной продукции*

При дозе 1,55 мГр/год образуется больше в 2 раза антигенактивированных первичных АФК чем в пробах контроля (P<0,05). При любой дозе облучения стимуляция

клеток крови частицами латекса вызывала рост суммарной продукции АФК. В контроле увеличение светосуммы первичных АФК составило 13,7%, а при дозе 1,55 мГр/год – 36,6 % по сравнению со спонтанной генерацией. Суммарное количество спонтанных вторичных АФК в крови овец не зависело от дозы облучения и статистически не отличалось (рис.8 А). Суммарная антигенактивированная продукция вторичных АФК при дозе 1,55 мГр/год увеличивалась на 50,4% (рис.9 Б) по сравнению с данными контроля (P<0,05). Антигенная стимуляция клеток «in vitro» частицами латекса потенцировала активность прооксидантных реакций. При стимуляции клеток крови частицами латекса продукция активированных АФК в контроле увеличивалась относительно спонтанной генерации в 1,8 раза (P<0,01), при субклинической дозе 1,55 мГр/год – в 2,9 раза (P<0,001).

Индекс активации(ИА) генерации первичных АФК в крови овец при различных поглощенных дозах находился в одном диапазоне изменчивости и составлял 1,26±0,26%. Однако при образовании вторичных радикалов наблюдалась зависимость показателей ИА от дозы облучения, при дозе 1,55 мГр/год ИА увеличивался на 63 %, относительно контроля (1,82±0,25%), что объясняется стимулирующим действием субклинической дозы на свободнорадикальные процессы в организме овец.

Таким образом, под влиянием дозы ИИ в 1,55 мГр/год изменялись свободнорадикальные процессы, протекающие в клетках крови овец, что характеризовалось увеличением суммарных объемов всех видов АФК. Значительное количество АФК образованно при активированной ХЛ реакции продукции вторичных АФК, это привело к росту показателей ИА, что указывало на повышение функциональных возможностей фагоцитов крови овец отвечать на антигенные угрозы формированием респираторного взрыва.

3.6 Радиобиологические эффекты в периферической крови коров при облучении «in vitro»

3.*6.1 Морфобиохимические и иммунологические изменения в крови коров при облучении «in vitro»* оценены при облучении проб крови в дозах: 1,33; 1,55; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 50; 100; 200; 300; 400; 500 мГр. Анализ результатов позволил объединить некоторые данные, находящиеся в одном диапазоне изменчивости и статистически не различающиеся, в группы: 1,55-2,0 мГр; 2,5-4,0 мГр и 4,5-6,0 мГр.

Гематологические показатели. Уровень гемоглобина относительно данных контроля не изменялся при облучении в дозах от 1,33 мГр до 2,0 мГр. С увеличением дозы облучения количество гемоглобина изменялось волнообразно, но его уровень почти всегда находился на низких значениях относительно контрольных величин (табл. 14). Первое снижение уровня гемоглобина зафиксировано при облучении в дозе 2,5 мГр, на 38,5% (P<0,001). При поглощенной дозе 4,5-6 мГр уровень гемоглобина сократился на 18,8%; при дозе 50 мГр – на 38,4% (P<0,05); в дозе 100 мГр – на 24,9% (P<0,001); при дозе 200 мГр – на 13% (P<0,001) по сравнению с контролем. При облучении в диапазоне доз от 300 мГр до 500 мГр содержание гемоглобина не изменялось.

Динамика снижения содержания эритроцитов носила волнообразных характер: при облучении в дозе 1,33 мГр количество эритроцитов уменьшалось на 33,9%; при дозах 1,55-2 мГр – на 35% (P<0,001); при дозах 2,5-4 мГр – на 25% (P<0,05) относительно контроля. При дозах от 4,5 мГр до 6 мГр содержание эритроцитов не изменялось. Устойчивое снижение содержания эритроцитов регистрировалось при облучении в дозах от 50 мГр до 500 мГр, в динамике прослеживалась зависимость «доза-эффект». Количество эритроцитов при дозе 50 мГр снижалось на 12,2%; при дозе 100 мГр – на 9,5% (P<0,05), при дозе 200 мГр – на 26,1% (P<0,01), при дозе 300 мГр – на 36,4% по

сравнению с контролем (P<0,01). Ярко эритроцитопения проявилась при облучении в дозе 400 мГр – снижение на 37,7%, при дозе 500 мГр – на 40% относительно контроля (P<0,001).

Таблица 14 – Гематологические показатели при облучении «in vitro»

Доза, мГр	Кол-во проб	Лейкоциты, $\times 10^9$кл./л	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $\times 10^{12}$кл./л	СОЭ, мм/час
контроль	43	7,21±0,38	85,19±3,72	5,25±0,20	0,41±0,08
1,33	13	8,50±1,06	81,02±0,37	3,47±0,26***	0,20±0,01*
1,55-2,0	15	7,24±0,45	79,43±3,36	3,41±0,20***	0,23±0,04*
2,50-4,0	16	6,39±0,45	52,38±3,51***	3,94±0,46*	0,53±0,11
4,50-6,0	15	7,16±0,56	69,14±1,16***	5,67±0,36	0,14±0,03**
50	16	7,37±0,52	52,50±3,22***	4,61±0,16*	0,13±0,02**
100	12	7,54±0,79	64,00±2,00***	4,75±0,14*	0,15±0,05**
200	14	7,37±1,93	74,00±7,02*	3,88±0,45**	0,20±0,04*
300	14	6,03±0,21**	88,28±6,0	3,34±0,14***	0,23±0,03*
400	14	6,46±0,51	99,01±7,23	3,27±0,18***	0,18±0,02***
500	18	7,63±0,34	83,82±2,52	3,15±0,12***	0,20±0,05*

*P<0,05; **P<0,01, ***P<0,001 по отношению к контролю

Динамика изменения показателей СОЭ, так же как динамика содержания эритроцитов и гемоглобина, имела волнообразный характер. Установлено, что минимальной дозой, ускоряющей СОЭ, являлась доза в 1,33 мГр, которая снижала показатель в 2,1 раза; при дозах 1,55-2 мГр – в 1,7 раза (P<0,05). При облучении в дозе 2,5-4,0 мГр значения СОЭ не изменялись. Увеличение поглощенной дозы ИИ возобновляло уменьшение СОЭ в пробах крови, при дозах 4,5-6 мГр – в 2,9 раз, при дозе 50 мГр – в 3,1 раза, при дозе 100 мГр – в 2,7 раза (P<0,01), при дозе 200 мГр – в 2,1 раза (P<0,05), при дозе 300 мГр – в 1,8 раза (P<0,05), при дозе 400 мГр – в 2,3 раза (P<0,001), при дозе 500 мГр – в 2,1 раза (P<0,05). Динамика ускорения СОЭ не имела зависимости «доза-эффект», но соответствовала теории нелинейной бимодальной зависимости (Бурлакова Е.Б., и др. 2007). Наибольшую устойчивость к воздействию малых доз при облучении «in vitro» показали лейкоциты. Достоверное снижение количества лейкоцитов на 16,4 % относительно контроля (P<0,01) установлено только при дозе 300 мГр (табл. 14). Однако зарегистрировано изменение клеточного состава лейкоцитов (табл. 15).

Содержание нейтрофильных гранулоцитов в периферической крови при облучении «in vitro» в субклинических дозах имело характерные особенности, обусловленные увеличением относительного содержания палочкоядерных нейтрофилов, при одновременном сокращении сегментоядерных клеток. При воздействии субклинических доз в диапазоне 1,33-6,0 мГр наблюдалось повышение относительного содержания юных форм нейтрофилов. При облучении проб крови в диапазоне доз от 50 до 500 мГр юные формы нейтрофилов отсутствовали, что подтверждает гипотезу о радиочувствительности юных форм нейтрофилов к повреждающему действию ИИ.

При облучении проб крови «in vitro» выявлено повышение относительного содержания палочкоядерных нейтрофилов (P<0,001), которое не имело прямой дозо-зависимости. Количество палочкоядерных нейтрофилов при дозе 1,33 мГр увеличилось в 4,9 раза; при 1,55-2 мГр – в 4,4 раза; при 2,50-4 мГр – в 3,2 раза, при 4,5-6,0 мГр – в 4,1

раза, 50 мГр – в 3,5 раза; 100 мГр – в 2,8 раза; 200 мГр – в 3,1 раза; 300 мГр – в 4,1 раза; 400 мГр – в 3,8 раза; 500 мГр – в 5,7 раза относительно контроля (P<0,001).

Наряду с увеличением относительного содержания палочкоядерных нейтрофилов в крови наблюдалось снижение сегментоядерных клеток: при облучении в дозе 1,33 мГр в 1,6 раза (P<0,05), при 1,55-2 мГр – в 1,8 раза (P<0,001), при 2,50-4 мГр – в 1,9 раза (P<0,001) и при 4,5-6,0 мГр – в 1,8 раза (P<0,001) относительно контроля. Облучение в дозе 50 мГр вызвало снижение содержания сегментоядерных клеток в 1,8 раза (P<0,001), при 100 мГр – в 3,2 раза (P<0,001), при 200 мГр – в 1,3 раза (P<0,05), при 300 мГр – в 1,8 раза (P<0,01) при 400 мГр – в 1,9 раза (P<0,001), при 500 мГр – в 1,6 раза (P<0,01) по сравнению с контролем. В уменьшении количества сегментоядерных нейтрофилов не выявлена прямая доза-зависимость.

Таблица 15 – Состав нейтрофильных гранулоцитов при облучении «in vitro»

Доза, мГр	Кол-во проб	Юные, %	Палочкоядерные,%	Сегментоядерные,%
контроль	43	1,17±0,06	3,95±0,25	24,03±1,44
1,33	13	2,40±0,60*	19,33±3,51***	15,50±3,10*
1,55-2	15	3,17±0,30***	17,45±2,63***	13,09±1,69***
2,50-4	16	3,08±0,37***	12,56±0,83***	12,72±0,88***
4,50-6	15	1,71±0,16**	16,09±2,11***	13,27±1,59***
50	16	0	14,00±0,79***	12,71±2,64***
100	12	0	11,13±1,48***	7,50±1,37***
200	14	0	12,25±1,76***	18,50±1,69*
300	14	0	16,28±1,49***	13,28±3,22**
400	14	0	15,10±2,10***	12,60±2,51***
500	18	0	22,38±2,90***	15,13±2,05**

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к контролю

При воздействии ИИ в дозе в 1,33-2,0 мГр на периферическую кровь «in vitro» количество эозинофилов находилось в диапазоне значений контроля (4,3±0,56%). При увеличении дозы в диапазоне 2,5-50 мГр появлялась тенденция к сокращению содержания эозинофилов, при дозе 100-500 мГр регистрировалось достоверное снижение эозинофилов относительно контроля: при 100 мГр – на 3,04%; 200 мГр – 1,58%; 300 мГр – 1,5%; 400 мГр – 1,7%; 500 мГр – 2%. Относительное содержание базофилов при облучении проб в диапазоне 1,33-500мГр не изменялось.

Содержание лимфоцитов при облучении образцов крови коров в дозах 1,33-6,0 мГр статистически не отличалось от значений контроля и находилось в диапазоне 58,50-63,64%. При воздействии доз в диапазоне 50-100 мГр наблюдался лимфоцитоз, относительное содержание клеток увеличивалось: при 50 мГр – на 7,43% (P<0,05), при 100 мГр – на 15,22 % (P<0,01). Эффект лимфоцитоза очевидно обусловлен снижением уровня других форм лейкоцитов, а не активацией лимфопоэза. При облучении «in vitro» проб крови в дозах от 200 до 500 мГр содержание лимфоцитов не изменялось относительно значений контроля, что свидетельствует о их высокой радиорезистентности по сравнению со зрелыми нейтрофильными гранулоцитами. Минимальной поглощенной дозой, изменявшей количество моноцитов, являлась доза в 1,33 мГр. При облучении образцов крови в дозе 1,33 мГр содержание моноцитов снижалось на 52,9% (P<0,05), при 4,5-6мГр – на 64,7% (P<0,01), при 100 мГр – на 41,2% (P<0,05), при 400 мГр – на 23,5% (P<0,01) относительно контроля (2,32±0,23%).

Таким образом, ИИ «in vitro» в дозах от 1,33 мГр до 500 мГр проб периферической крови крупного рогатого скота разнонаправленно влияет на гематологические показатели, что характеризуется волнообразными колебаниями показателей гемоглобина, резким сокращением содержания эритроцитов и снижением показателей СОЭ, изменением клеточного состава лейкоцитов, при неизменном относительном уровне белых клеток крови. При воздействии ИИ в субклинических дозах (1,33-500 мГр) поступательно сокращается содержание эозинофилов и сегментоядерных нейтрофильных гранулоцитов, что свидетельствует о высокой чувствительность этих клеток к ИИ. Снижение уровня сегментоядерных нейтрофилов при всех дозах облучения происходит за счет роста количества менее зрелых палочкоядерных нейтрофилов. Доза в 50 мГр является пороговой для исчезновения юных форм нейтрофилов, что указывает на их высокую радиочувствительность. При воздействии «in vitro» малых доз ИИ на пробы крови снижается содержание агранулоцитов, вплоть до развития лимфоцито- и моноцитопении, причем значительное сокращение относительного уровня моноцитов указывает на их высокую чувствительность к ИИ. Базофилы крови обладают устойчивостью к внешнему гамма-излучению. Совокупность выявленных изменений клеточного состава крови является информативной и может служить интегральным прогностическим показателем в оценке влияния малых доз на состояние кроветворной системы организма животных.

Фагоцитарная активность. Установлено, что внешнее воздействие ИИ на пробы крови в дозе 1,33 мГр вызывает сокращение показателя в 1,5 раза по сравнению с данными контроля (P<0,05). При дозах 2,5-500 мГр снижение становилось более выраженным (P<0,001), при воздействии доз 1,55-2,0 мГр значение ФИ не изменялось (рис.9.).

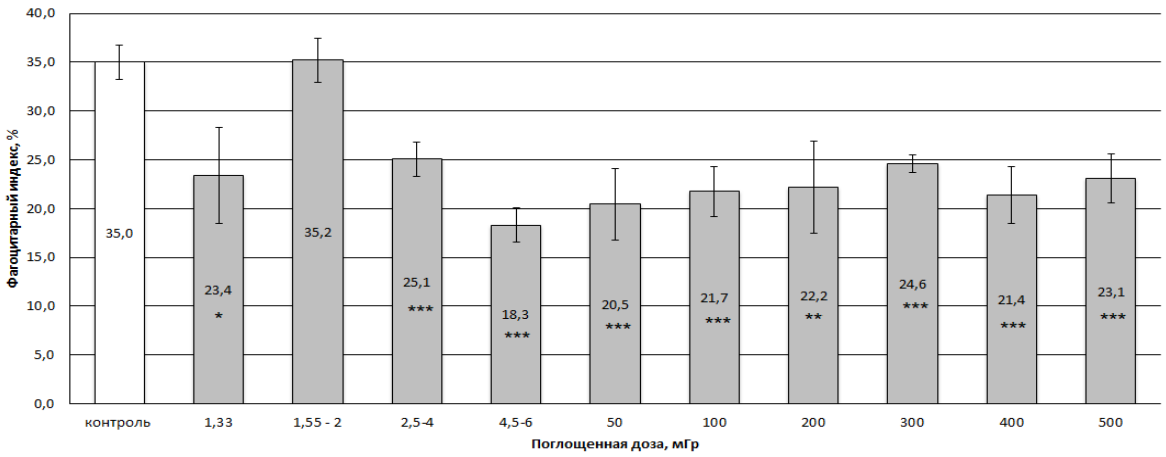

*Рис.9.Фагоцитарный индекс лейкоцитов периферической крови коров при облучении «in vitro»: *P<0,05; ***P<0,001 по отношению к контролю*

При дозах 2,5-4 мГр ФИ уменьшался на 9,9 %, при 4,5-6,0 мГр – на 16,7%, при 50 мГр – на 14,5 %, при 100 мГр – на 13,3% при 200 мГр – на 12,8%, при 300 мГр – на 10,4%, при 400 мГр – 13,6 %, при 500 мГр – на 11,9% по сравнению с контролем. В динамике снижения ФИ не прослеживалась зависимость «доза-эффект», динамика имела бимодальное распределение с модой, принадлежащей диапазонам 1,55-2 мГр и 300 мГр, распределение является характерным для воздействия малых доз ИИ на биологические объекты (Бурлакова Е.Б. и др. 2014). Снижение активности фагоцитов крови, возникающее под влиянием малых доз ИИ, является негативным последствием облучения и свидетельствует о сокращении возможностей неспецифической

резистентности организма и развитии недостаточности клеточного звена иммунной системы.

Биохимические показатели. При облучении «in vitro» установлены достоверные изменения биохимических показателей: уровень АЛТ, АСТ, креатинина и белковых фракций. Уровень резервной щелочности при дозе 100 мГр снижался в 1,3 раза по отношению к контролю и составлял 200,50±0,50 мг% (P<0,05), при дозах 1,55-50 мГр/год показатели находились в одном диапазоне с контролем (250,65±0,5мг%).

При дозах 50мГр и 100 мГр концентрация общего белка относительно контроля (74,55±2,18г/л) достоверно (P<0,001) снижалась на 11% и 13% соответственно. Концентрация глобулинов изменялась волнообразно, начиная с дозы 1,55 мГр. Уровень альфа-глобулинов относительно данных контроля (16,18±0,70) уменьшался при дозах 1,55-2 мГр – на 3,92 %, при 2,5-4 мГр – на 2,26% (P<0,05). При дозах 4,5-100 мГр содержание альфа-глобулинов в среднем составляло 19,08±1,63% и не отличалось от контроля. При дальнейшем увлечении дозы уровень альфа-глобулинов снижался: при 200 мГр – на 5,03 % (P<0,01), при 300 мГр – на 7,05 %, при 400 мГр – на 6,49%, при 500 мГр – на 6,76 % по сравнению с контролем (P<0,001). Динамика изменения концентрации бета-глобулинов имела волнообразный характер. При поглощенных дозах 1,33-4,0 мГр содержание бета-глобулинов находилось в пределах контроля – 18,27±1,24 и статистически не отличалось. При дозах 4,50-6 мГр концентрация бета-глобулинов снижалась на 28,55% (P<0,01), при дозах 50 и 100 мГр – на 40% (P<0,001)по сравнению с контролем. Увеличение дозы облучения не приводило к изменению значений бета-глобулинов, при дозах от 200 мГр до 500 мГр относительное принадлежало диапазону 17,76-19,60% и статистически не отличалось от контроля. Установлена высокая степень резистентности к ИИ гамма-глобулинов, их количество при дозах 1,33-500мГр не изменялось относительно контроля (25,66 ±1,34 %), находилось в диапазоне от 21,84% до 28,75%.

Фермент АЛТ является радиационно-устойчивым, при облучении в диапазоне 200-500 мГр снижалась АЛТ, при дозе 200 мГр концентрация АЛТ снижалась на 60% (P<0,001), при 300 мГр – на 46,7%, при 400 мГр – на 40% (P<0,01), при 500 мГр – на 66,7 % (P<0,001) по сравнению с контролем (0,15±0,02мкмоль/(с×л)).

АСТ имела высокую радиочувствительность в отличии от АЛТ, поскольку количество фермента уменьшалось уже при дозе 1,33 мГр на 51%, при 1,55-4мГр – на 64,9% относительно контроля (P<0,001). Облучение в дозах 4,50-100 мГр не изменяло концентрацию АСТ относительно данных контроля (0,74±0,09 мкмоль/(с×л)), при этих дозах содержание АЛТ находилось в диапазоне значений 0,60-0,89 мкмоль/(с×л). Увеличение дозы до 200 мГр уменьшало содержание АСТ на 70% (P<0,001), однако дозы в 300 мГр и 400 мГр не влияли на концентрацию АСТ (среднее значение 0,60±0,04 мкмоль/(с×л)), при дозе 500 мГр установлено резкое падение содержания АСТ на 87,8%.

Содержание креатинина в пробах крови при дозах 1,33-200 мГр снижалось по отношению к контрольным значениям, степень падения уровня креатинина уменьшалась с увеличением дозы. Максимальное снижение креатинина установлено при дозе 1,33 мГр – на 39,4% (P<0,001), при 1,55-2,0 мГр – на 23%, при 2,5-4,0 мГр – на 15,5%, при 4,5-6 мГр – на 13,9% (P<0,01); при 50 мГр – на 11,8 %, при 100 мГр – на 12,8% (P<0,01); при 200 мГр – на 9,8% (P<0,05) по отношению к контролю (172±7мкмоль/л). Дальнейшее увеличение дозы ИИ не приводило к изменению креатинина в пробах, при облучении дозами 300-500 мГр содержание фермента находилось в диапазоне 162,66-171,30 мкмоль/(с×л). Установлена радиочувствительность креатинина к дозам ИИ 1,33

– 200 мГр, по нашему мнению, она связана с неустойчивостью фермента к гамма-облучению.

На основании полученных данных проведен частотный анализ результатов и установлено, что биохимические показатели имеют различную радиочувствительность. Изменение ферментов при воздействии малых поглощенных доз имело полиномиальный характер с экстремумами при дозах 1,55-4,0 мГр, 200 мГр и 500 мГр, за исключением распределения показателей креатинина. Динамика распределения значений креатинина имела экспоненциальный характер, с величиной достоверности аппроксимации R^2=0,79, с увеличением дозы ИИ количество креатинина в пробах медленно восстанавливалось до значений контроля. Установлено, что коэффициент аппроксимации полиномиального тренда АСТ – 0,52, что демонстрировало среднюю степень соответствия; для АЛТ (R^2=0,82), это указывало на наличие сильной степени согласованности полученной зависимости с результатами. В полиномиальном тренде данных минимальные экстремумы зарегистрированы в распределении АСТ при дозах: 2,5-4мГр, 200 и 500мГр, АЛТ:1,55-2,0 мГр, 200 мГр и 500 мГр. Коэффициент аппроксимации полиномиального тренда альфа-глобулинов составлял 0,97, что демонстрировало высокую степень соответствия; для бета-глобулинов R^2=0,93, это указывало на наличие сильной степени согласованности полученной зависимости с данными. В полиномиальном тренде данных минимальные экстремумы зарегистрированы в распределении альфа-глобулинов при дозах: 1,55-2 мГр, 300мГр и 500мГр; бета-глобулинов при 50 мГр и 500 мГр.

Таким образом, модельное воздействие субклинических доз ИИ излучения «in vitro» на образцы периферической крови крупного рогатого скота вызывает разнонаправленные изменения биохимических показателей: снижение уровня альфа-глобулинов при дозах 1,55-2,0 мГр, 300 мГр и 500 мГр (R^2=0,97); сокращение количества бета-глобулинов при дозах 50 мГр и 500 мГр (R^2=0,97); уменьшение концентрации АСТ в диапазоне 2,5-4,0 мГр, 200 и 500 мГр (R^2=0,52) и АЛТ при дозах 1,55-2,0 мГр, 200 мГр и 500 мГр (R^2=0,82); снижение содержания креатинина при дозах 1,33-200 мГр (R^2=0,79). Установлена стабильность показателей общего белка, гамма-глобулинов, глюкозы и щелочной фосфатазы при дозах 1,33-500 мГр.

3.*6.2 Состояние свободно радикальных процессов в венозной крови лактирующих коров при облучении «in vitro»*. ХЛ кинетика генерации первичных и вторичных АФК при облучении проб крови коров в дозах 1,33 – 500 мГр «in vitro» характеризовалась двумя пиками и имела специфические особенности при различной дозовой нагрузке.

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). Суммарное количество первичных АФК, спонтанно генерировавшихся в образцах крови при дозах облучения 1,55-2,0 мГр, превышало на 2,86 млн.имп значения контроля (P<0,01), табл.16. Дозы от 50 до 300 мГр ингибировали спонтанную продукцию первичных радикалов, при дозе 50 мГр количество спонтанных первичных АФК уменьшалось на 1,62 млн.имп (P<0,01), при дозе 100 мГр – на 1,8 млн. имп. (P<0,001), при дозе 200 мГр – на 1,7 млн. имп. (P<0,05), при дозе 300 мГр – на 1,29 млн. имп.(P<0,01) по сравнению с контролем. При антигенактивированной генерации первичных АФК сокращалась их продукция при дозах 1,33; 200; 300 и 400 мГр. Антигенактивированная продукция первичных радикалов при облучении проб крови в дозе 1,33 мГр уменьшалась на 2 млн. имп. (P<0,05), при 200 мГр – на 2,7 млн. имп., при 300мГр – на 2,92 млн. имп.(P<0,001), при 400 мГр – на 2,77 млн. имп. относительно контроля (P<0,001). При дозах 1,55-2,0 мГр и 4,5-6 мГр продукция первичных АФК возрастала: при 1,55-2,0 мГр– на 3,22 млн. имп. (P<0,05), при 4,5-6,0 мГр – на 3,74 млн. имп.(P<0,001) по сравнению с контролем.

Таблица 16 – Светосумма первичных АФК при облучении «in vitro», млн. имп/180 мин

Поглощенная доза, мГр	Кол-во проб	Спонтанная ХЛ	Активированная ХЛ
контроль	43	3,50±0,37	5,70±0,57
1,33	13	1,81±0,50	3,30±0,30*
1,55-2,0	15	6,36±0,82**	8,92±1,43*
2,50-4,0	16	3,21±0,49	5,54±0,82
4,50-6,0	15	3,44±0,54	9,44±0,66***
50	16	1,88±0,37**	7,06±1,01
100	12	1,70±0,16***	4,75±0,45
200	14	1,80±0,72*	3,00±0,56***
300	14	2,21±0,23**	2,78±0,27***
400	14	2,87±0,55	2,93±0,54***
500	18	3,46±0,41	4,36±0,86

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001; по отношению к поглощенной дозе 0,92мГр/год

Суммарное количество спонтанных вторичных АФК при облучении «in vitro» крови в дозах 1,33-50 мГр и 200-500 мГр статистически не отличалось от контроля (табл.17), за исключением значений, при облучении проб в дозе 100 мГр, при этой дозе установлено снижение на 1,97 млн. имп. относительно контроля (P<0,001).

Таблица 17 – Светосумма вторичных АФК при облучении «in vitro», млн. имп/180 мин.

Поглощенная доза, мГр	Кол-во проб	Спонтанная ХЛ	Активированная ХЛ
0,92 контроль	43	3,46±0,48	10,70±0,93
1,33	13	3,59±0,88	10,11±0,60
1,55-2,0	15	4,44±1,07	13,90±2,77
2,50-4,0	16	2,94±0,50	9,41±1,05
4,50-6,0	15	2,63±0,37	14,30±1,10*
50	16	2,13±0,39	11,00±1,71
100	12	1,49±0,19***	7,00±0,10***
200	14	2,37±0,38	3,00±0,56***
300	14	2,67±0,23	4,92±0,97***
400	14	3,20±0,98	8,84±1,60
500	18	2,78±0,56	11,70±2,60

*P<0,05; ***P<0,001; по отношению к поглощенной дозе 0,92мГр/год

При активации клеток крови латексом при дозах 4,5-6,0 мГр увеличивалась суммарная продукция вторичных АФК (табл. 16) на 3,6 млн. имп. относительно контроля (P<0,05), аналогичное повышение при этой дозе регистрировалось при генерации антигенактивированной продукции первичных АФК. При облучении в дозах 100-300 мГр угнеталось образование антигенактивированных вторичных АФК: при дозе 100 мГр снижение на 3,7 млн. имп., при дозе 200 мГр – на 7,7 млн. имп., при дозе 300 мГр – на 5,78млн. имп относительно контроля (P<0,001).

*Индекс активации (ИА, усл.ед.).*Дозы 4,5-6 мГр и 200 мГр оказывают стимулирующее действие на способность клеток к генерации первичных АФК, доза в 500 мГр ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов. Дозы в диапазоне 2,5-100мГр стимулируют клетки крови к генерации АФК.

Таким образом, в периферической крови, облученной «in vitro» в диапазоне доз от 1,33 мГр до 500 мГр., установлены следующие радиобиологические эффекты: однократное гамма-облучение «in vitro» в дозе 1,33 мГр снижает количество эритроцитов и фагоцитарного индекса; доза 2,5-4мГр является стартовой для снижения количества гемоглобина; с дозы 50мГр регистрируется ускорение СОЭ; концентрация общего белка снижается при дозах 50 и 100 мГр и увеличивается при 200 мГр; дозы в диапазоне 1,33-100 мГр стимулируют выработку АФК; дозы 200-500 мГр не потенцируют генерацию АФК при воздействии антигена, что является свидетельством снижения иммунореактивности клеток периферической крови; доза в 500 мГр ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов.

3.7 Анализ корреляционной зависимости ХЛ-характеристик крови коров при облучении «in vivo» и «in vitro»

В наших исследованиях были определены гематологические, биохимические, иммунологические и хемилюминесцентные характеристики периферической крови крупного рогатого скота при годовых поглощенных дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год – «in vivo», такие же показатели определены при внешнем гамма-облучении проб крови «in vitro» в аналогичных дозах. Установление корреляционной зависимости позволит экстраполировать полученные результаты, при облучении «in vitro» проб крови в ответную реакцию многоклеточного организма на воздействие ИИ в малых дозах.

На основании результатов глав 3.5.2 и 3.5.4 работы можно заключить, что при поглощенных дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год в периферической крови крупного рогатого скота изменялись гематологические показатели (эритроцитоз, лимфоцитоз, моноцитопения, выброс в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов), снижалась фагоцитарная активность лейкоцитов, изменялись биохимические показатели сыворотки крови, носили разно-векторный характер (увеличивался уровень щелочной фосфатазы, креатинина и альбуминов; снижалось содержания общего белка, за счет уменьшения количества гамма-глобулинов, изменялись концентрации АЛТ и АСТ). Субклинические дозы увеличивали суммарные объемы спонтанной генерации и снижали продукцию антигенактивированного образования первичных и вторичных АФК.

На основании главы 3.6. можно резюмировать, что облучение «in vitro» образцов крови в дозах 1,33 и 1,55 мГр идентично изменяло гематологические показатели (ускорение СОЭ, эритроцитопения, увеличение содержания юных и палочкоядерных нейтрофилов, уменьшение сегментоядерных нейтрофилов) и биохимические показатели (снижение АСТ и креатинина). При поглощенной дозе 1,33 мГр регистрировали моноцитопению, при дозе 1,55 мГр – снижение фагоцитарной активности и уменьшение содержание альфа-глобулинов. Облучение в дозе в 1,33 мГр уменьшало суммарное количество антигенактивированных первичных АФК, при дозе 1,55 мГр увеличивалось суммарное количество спонтанных и активированных первичных АФК. На основании идентичности установленных показателей выполнена оценка корреляционной зависимости.

3.7.1 Корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,33 мГр/год и 1,33мГр. В группах «in vivo» и «in vitro» между суммарным количеством активированных первичных АФК установлена «тесная» функциональная связь по шкале Чеддока и прямая «высокая» корреляционная взаимосвязь согласно ранговой корреляции Спирмена – r_{xy} = 0,87 (табл.18). Между суммарным количеством спонтанных первичных АФК выявлена «умеренная» связь (шкала Чеддока) и прямая

«умеренная» корреляционная взаимосвязь по Спирмену – r_{xy} =0,50. Между суммарным количеством спонтанных и активированных вторичных АФК установлена «умеренная» функциональная связь (шкала Чеддока) и прямая «умеренная» взаимосвязь по Спирмену (r_{xy}=0,50).

Таблица 18 – Коэффициент корреляции Спирмена (r_{xy}) значений суммарной продукции АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

			in vivo			
			первичные АФК		вторичные АФК	
			актив.	спонт.	актив.	спонт.
in vitro	люцигенин	актив.	0,87			
		спонт.		0,50		
	люминол	актив.			0,50	
		спонт.				0,50

3.7.2 Корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,55 мГр/год и 1,55мГр. В группах «in vivo» и «in vitro» установлена «заметная» прямая взаимосвязь между количеством спонтанных (r_{xy}=0,60) и активированных (r_{xy}=0,62) первичных радикалов по Спирмену и «заметная» функциональная связь по шкале Чеддока (табл.19). Согласно коэффициенту Спирмена между суммарным количеством вторичных спонтанных АФК выявлена «весьма высокая» (r_{xy}=0,90), для антигенактивированных АФК «высокая» (r_{xy} = 0,83) взаимосвязь. По шкале Чеддока в группах «in vivo» и «in vitro» между количеством вторичных спонтанных АФК «тесная», а при активированной ХЛ «очень тесная» функциональная связь.

Таблица19 – Коэффициент корреляции Спирмена (r_{xy}) значений суммарной продукции АФК «in vivo» при дозе 1,55 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,55 мГр

			in vivo			
			первичные АФК		вторичные АФК	
			актив	спонт	актив	спонт
in vitro	люцигенин	актив	0,62			
		спонт		0,60		
	люминол	актив			0,83	
		спонт				0,90

Нами установлена статистически значимая корреляционная связь между спонтанной и активированной продукцией АФК при облучении проб крови «in vitro» в дозах 1,33 мГр, 1,55 мГр и генерацией АФК в организме крупного рогатого скота при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год. При действии малых доз в периферической крови развивается идентичный кислородный эффект. Корреляционная связь между продукцией АФК в периферической крови при облучении «in vivo» в дозе 1,33 и 1,55 мГр/год и облучением «in vitro» в дозах 1,33 и 1,55 мГр позволяет использовать облучение проб периферической крови «in vitro» как модель естественных процессов.

3.8 Интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов

Для расчета ИПРОА были выбраны показатели, характеризующие радиационную опасность в агробиоценозах и гематологические, биохимические,

иммунобиологические, ХЛ показатели крови, имеющие однозначную динамику в условиях воздействия ИИ в субклинических дозах на крупный рогатый скот и при облучении проб крови «in vitro». Для расчета ИПРОА по каждому статистическому показателю были взяты максимальные, минимальные и средние значения, табл. 20.

Таблица 20 – Значения для расчета ИПРОА для агробиоценозов с различной поглощенной дозой, ($\bar{X}ij$ ($\bar{X}i\ min \ldots . \bar{X}i\ max$))

Показатели	Агробиоценозы с поглощенной дозой, мГр/год		
	0,92	1,33	1,55
МАЭД внешнего гамма-излучения, нЗв/ч	10,4 (8-14)	18,89 10-35)	17,1 (10-34)
УА ^{137}Cs в почвах Бк/кг	6,43 (3,4-12,5)	284,17 (14,1-789,0)	120,81 (5,0-365)
УА ^{137}Cs в кормах	1,08 (0,53-2,60)	6,81 (1,22-14,17)	2,94 (1,11-7,98)
Кол-во юных нейтрофилов, %	1,07 (0-2)	3,99 (0-7)	2,57 (0-6)
Кол-во палочкоядерных нейтрофилов, %	3,66 (2-6)	6,09 (1-12)	6,05 (1-17)
Кол-во сегментоядерных нейтрофилов, %	24,34 (1-31)	13,65 (1-33)	14,14 (4-27)
Фагоцитарная активность, %	29,87 (10,83-52,40)	25,09 (6,13-45,2)	25,00 (6,56-48,50)
Суммарная продукция первичных спонтанных АФК, млн./180мин	5,65 (0,11-12,50)	8,28 (1,30-16,64)	8,56 (1,6-15,1)
Суммарное количество проб	714	534	598

Согласно методике, для каждого показателя ИПРОА из имеющегося диапазона значений выделялись минимальное ($\bar{X}i\ min$) и максимальное ($\bar{X}i\ max$), определялось среднее значение ($\bar{X}ij$), с последующим расчетом величины нормированного критерия по каждому показателю (ИПРОА $\bar{X}ij$) (табл.21).

Таблица 21 – Показатели ИПРОА для агробиоценозов с различной поглощенной дозой

Показатели	0,92 мГр/год	1,33мГр/год	1,55мГр/год
МАЭД внешнего гамма-излучения, нЗв/ч	0,08	0,40	0,33
УА ^{137}Cs в почвах Бк/кг	0,004	0,36	0,15
УА ^{137}Cs в кормах	0,04	0,46	0,18
Кол-во юных нейтрофилов, %	0,13	0,57	0,37
Кол-во палочкоядерных нейтрофилов, %	0,11	0,27	0,27
Кол-во сегментоядерных нейтрофилов, %	0,73	0,40	0,41
Фагоцитарная активность, %	0,51	0,41	0,41
Суммарная продукция первичных спонтанных АФК, млн./180мин	0,34	0,50	0,52
ИРПРОА	0,24	0,42	0,33

Рассчитанные значения ИПРОА для агароландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 мГр/год превышали в 1,75 и 1,38 раз показатель ИПРОА для агроландшафта с поглощенной дозой 0,92 мГр/год. По итогам расчета можно заключить, что выбор

показателей для расчета ИПРОА был верен. Результаты позволяют рекомендовать использовать показатели: МАЭД внешнего гамма-излучения, УА ^{137}Cs в почвах и кормах, относительное содержание форм нейтрофилов, фагоцитарную активность клеток крови и суммарную продукцию первичных спонтанных АФК для расчета ИПРОА в аграрных ландшафтах для определения степени радиоактивного техногенного загрязнения.

ВЫВОДЫ

1. В Красноярском крае выделены аграрные ландшафты с дополнительной техногенной радиоэкологической нагрузкой, обусловленной присутствием ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{152}Eu в почвах; ^{137}Cs в кормах и продукции животноводства. В агробиоценозах Красноярского края, имеющих дополнительное техногенное загрязнение, производится радиационно-безопасная агропродукция.
2. Расчет коэффициентов перехода ^{137}Cs по цепи «почва-корма-продукция животноводства» позволяет заключить, что в аграрных ландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением только 2% почвенного ^{137}Cs переходит в корма, из них 2-5% – мигрирует в молоко коровье.
3. Уравнения линейной регрессии, предложенные для аграрных ландшафтов с дополнительным техногенным загрязнением, позволяют прогнозировать УА ^{137}Cs в продукции растениеводства и животноводства.
4. В агробиоценозах Красноярского края с фоновым техногенным загрязнением организм с.-х животных испытывает воздействие ИИ в дозе 0,92 мГр/год. В агробиоценозах с дополнительным техногенным радиоактивным загрязнением с.-х. животные испытывают дозовые нагрузки в 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год, которые в соответствие с рекомендациями научного комитета по атомной энергии при ООН относят к сверхмалым дозам.
5. Поглощенные дозы ИИ (1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год) стимулируют активность гемопоэза у лактирующих коров, о чем свидетельствует развитие умеренного эритроцитоза и лимфоцитоза и выброс в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов – юных и палочкоядерных, при этом негативно влияют на функциональные способности фагоцитов крови, подавляя фагоцитарную активность лейкоцитов. Изменения биохимических показателей сыворотки крови коров носят разновекторный характер, на что указывает увеличение уровня щелочной фосфатазы, креатинина и альбуминов, снижение содержания общего белка, в том числе за счет уменьшения количества гамма-глобулинов, а также изменение концентрации АЛТ и АСТ.
6. Субклиническая доза ИИ 1,55 мГр/год влияет на клеточный состав крови мелкого рогатого скота, о чем свидетельствует развитие умеренного лейкоцитоза и эритроцитоза; изменение лейкоцитарного профиля крови, что характеризуется моноцито-, эозинопенией, лимфоцитозом; выбросом в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов и сопровождается подавлением фагоцитарной активности лейкоцитов. Повышение количества эритроцитов сопровождается снижением уровня гемоглобина и гематокрита, что указывает на несовершенство эритропоэза в красном костном мозге. Колебания биохимических показателей сыворотки крови овец носят разнонаправленный характер, что проявляется увеличением концентрации кальция и общего белка и снижением щелочной фосфатазы, АСТ, креатинина.
7. Субклинические дозы ИИ 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год негативно влияют на течение свободнорадикальных процессов в крови крупного рогатого скота, что

характеризуется торможением времени формирования пиков спонтанной продукции АФК. Увеличение суммарного количества АФК, образованных клетками, находящимися в состоянии «покоя»; сокращением суммарных объемов АФК при активированной хемилюминесценции, стимулированной частицами латекса ведет к сокращению индекса активации, отражающего потенциальные возможности фагоцитов крови к индукции респираторного взрыва в ответ на дополнительное антигенное раздражение.

8. Субклиническая доза 1,55 мГр/год инициирует свободнорадикальные процессы в организме овец, о чем свидетельствует ускорение генерации вторичных АФК; рост суммарных объемов всех видов АФК, особенно при антигенстимулированной ХЛ-реакции, что вызывает увеличение индекса активации фагоцитов крови, участвующих в реализации механизмов неспецифической резистентности организма.

9. Моделируемое воздействие ИИ в дозах от 1,33 мГр до 500 мГр на образцы крови крупного рогатого скота «in vitro» разнонаправленно влияет на гематологические параметры и ведет к сокращению содержания эритроцитов, снижению уровня СОЭ и изменениям клеточного состава лейкоцитов. Сокращается содержание моноцитов, эозинофилов и сегментоядерных нейтрофильных гранулоцитов, что свидетельствует о высокой чувствительность этих клеток к гамма-облучению. Доза в 50 мГр является пороговой для исчезновения юных форм нейтрофилов, что указывает на их высокую радиочувствительность. Негативным последствием радиационного воздействия является достоверное сокращение показателей фагоцитарной активности лейкоцитов в 1,4-1,8 раза относительно контрольных величин. Совокупность выявленных изменений клеточного состава крови является информативной и может служить интегральным прогностическим показателем в оценке влияния малых доз на организм животных.

10. Модельное воздействие субклинических доз ИИ «in vitro» на образцы периферической крови крупного рогатого скота вызывает разнонаправленные изменения биохимических показателей: снижение уровня альфа-глобулинов при дозах 1,55-2,0 мГр, 300 мГр и 500 мГр; сокращение количества бета-глобулинов при дозах 50 мГр и 500 мГр; уменьшение концентрации АСТ при дозах 2,5-4,0 мГр, 200 и 500 мГр и АЛТ при дозах 1,55-2,0 мГр, 200 мГр и 500 мГр; снижение содержания креатинина при дозах 1,33-200 мГр.

11. Установлены прямые корреляционные связи между кинетикой генерации люцигенин- и люминолзависимых АФК в крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 1,33 и 1,55 мГр/год и моделируемым облучением проб «in vitro» 1,33 и 1,55 мГр, особенно выраженные между показателями суммарной антигенактивированной продукции первичных АФК при дозе 1,33 мГр и суммарной генерацией вторичных АФК при дозе 1,55 мГр.

12. Для расчета интегральной оценки радиационной опасности агробиоценозов, позволяющей дифференцировать аграрные ландшафты по степени радиоактивного техногенного загрязнения, предлагаются следующие эколого-радиобиологические индексы: МАЭД внешнего гамма-излучения; УА ^{137}Cs в почвах, кормах; клеточный состав лейкоцитов, их фагоцитарная активность; суммарная продукция первичных свободных радикалов при спонтанной ХЛ-реакции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Специалистам ветеринарных радиологических лабораторий для расчета поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных рекомендуем

использовать методику «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края».

2. Специалистам в области сельскохозяйственной радиоэкологии для определения радиационной безопасности аграрных ландшафтов рекомендуем применять показатель интегральной оценки радиационной опасности агробиоценозов (ИПРОА). Предлагается проводить расчет ИПРОА на основе следующих эколого-радиобиологических индексов: МАЭД внешнего гамма-излучения, удельная активность ^{137}Cs в почвах и кормах, процентное содержание нейтрофилов, фагоцитарная активность клеток крови и суммарная продукция первичных спонтанных АФК.

3. Специалистам в области сельскохозяйственной радиоэкологии при оценке миграционной активности ^{137}Cs использовать коэффициенты накопления и перехода радионуклида между звеньями цепи «почва-растение-продукция животноводства».

4. Установленные коэффициенты миграционной активности ^{137}Cs, закономерности изменений гематологических, биохимических и хемилюминесцентных показателей периферической крови сельскохозяйственных животных рекомендуем к использованию в учебном процессе при подготовке студентов ветеринарных, специальностей; при написании учебных пособий, учебников и научных монографий по ветеринарной радиобиологии и сельскохозяйственной экологии; при проведении научно-исследовательских работ по изучению влияния ионизирующего излучения в малых дозах на гомеостаз сельскохозяйственных животных.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Федотова, А.С. Особенности функциональной активности клеток крови овец в зонах с различной плотностью загрязнения ^{137}Cs. / А.С. Федотова // Вестник Красноярского ГАУ – 2019– Вып.4. – С. 88 – 97.

2.Федотова, А.С. Иммуногематологические характеристики и функциональная активность клеток крови крупного рогатого скота при действии малых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова, Г.В. Макарская и др. // Вестник Красноярского ГАУ – 2021– Вып.3. С. 71 – 79. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-71-79

3. Федотова, А. С. Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края / А.С. Федотова // Аграрный вестник Урала – 2021. – № 12 (215). – С. 77–86. DOI:10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.

4. Федотова, А.С. Генерация АФК в периферической крови крупного рогатого скота под действием, «in vivo» и «in vitro» сверхмалых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова, Г.В. Макарская, и др. // Вестник РГАТУ – 2022 – Т.14. – №2. – С. 125-134. DOI:10.36508/RSATU.2022.54.2.015.

5. Тюрина, Л.Е. Радиационная безопасность источников минеральных веществ Красноярского края для сельскохозяйственных животных / Л.Е. Тюрина, А.С. Федотова // Вестник Красноярского ГАУ – 2022– Вып.7. – С. 143 – 149.

6. Федотова, А.С. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 мГр / А.С. Федотова, А.А. Жигарев и др. // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» Государственная академия ветеринарной медицины. – 2022. – Т.58, Вып.3. – С. 65-73. DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.

7. Федотова, А.С. Изменение показателей периферической крови овец при действии малых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова // Вестник РГАТУ. – 2022. – Т.14, – №4. – С. 83-89. DOI: 10.36508/RSATU.2022.19.47.012

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

9. Федотова, А.С. Хемилюминесцентные характеристики периферической крови при воздействии «in vitro» ионизирующего излучения в дозах 5 мГр, 50мГр и 500 мГр/ А.С. Федотова // Вестник РГАТУ. – 2023. – Т.15. – №3. – С. 45-53. DOI: 10.36508/RSATU.2023.59.14.007.

10. 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

В международных базах данных Scopus и Web of Science:

11. Fedotova, A S. Kinetics of formation of reactive oxygen species by blood cells when exposed to ultra-low doses of ionizing radiation. / A S Fedotova, E G Turitsina, and etc // IOPConf. Ser.: EarthEnviron. 2019 Sci. 315 042017

12. Fedotova A.S. An impact of low doses radiation on the kinetics of reactive oxygen species generation in sheep peripheral blood. / A S Fedotova, G V Makarskaya and etc // IOPConf. Ser.: Earth Environ. 2020 Sci. 412 052016.

13. Fedotova A S. Radical generation by animal cells under the impact of low doses of ionizing radiation “in vivo” and “in vitro”/ A S Fedotova,E G Turitcyna, and etc // Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies AIP Conf. Proc. 2022. 2467, 070023-1–070023-4; DOI 10.1063/5.0092982.

Монографии, научно-практические рекомендации и учебные пособия

14. Федотова, А.С. Миграционная способность техногенных радионуклидов в агробиоценозах лесостепной зоны Красноярского края: монография / А.С. Федотова – Красноярск: Краснояр. гос. аграрн. ун-т. – Красноярск, 2017 – 138с.

15. Федотова А.С. Радиационная безопасность сельскохозяйственной продукции: учеб. пособие / А.С. Федотова. - Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2020 – 226с.

16. Федотова, А. С. Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края: научно-практ. рекомендации / А. С. Федотова. – Краснояр.гос. аграрн. ун-т. – Красноярск, 2022. – 17с.

17. Турицына, Е.Г. Хемилюминесцентный анализ в ветеринарной медицине: опыт и перспективы применения: монография / Е.Г. Турицына, А.С. Федотова – Краснояр. гос. аграрн. ун-т. – Красноярск, 2022 – 152с., – 9,5п.л.

Публикации в сборниках конференций

18. Федотова, А.С. Оценка дозы облучения в населенном пункте зоны наблюдения ГХК. / А.С. Федотова // Вестник Красноярского ГАУ– 2016. Вып.2.– С. 61-68.

19. Федотова, А.С. Модель миграции Cs-137 в аграрном ландшафте, расположенном в зоне наблюдения ГХК / А.С. Федотова // Радиоэкология XXI века: мат-лы между. науч.-практ. конф. Красноярск: СФУ – 2012. – С. 377-384.

20. Федотова, А.С. Анализ радиационной обстановки в центральных районах Красноярского края / А.С. Федотова // Мат-лы межд. науч.-практ. конф. Ч II. Изд-во ФГОУ ВПО КрасГАУ– 2012. С. 325-327.

21. Федотова, А.С. Оценка дозы облучения в населенном пункте зоны наблюдения ГХК / А.С. Федотова // Мат-лы межд. науч.-практ. конф.Ч II. Изд-во ФГОУ ВПО

КрасГАУ. – 2013. – С. 284-287.

22. Федотова, А.С. Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs в почвах агарного ландшафта, принадлежащего зоне наблюдения ГХК / А.С Федотова /Мат-лы межд. науч.-практ. конф.Ч II. Изд-во ФГОУ ВПО КрасГАУ – 2014. – С. 232-237.

23. Федотова, А.С. Загрязнение Sr-90 грубых кормов, заготавливаемых в аграрных ландшафтах, расположенных в зоне наблюдения ГХК. / А.С. Федотова / Мат-лы межд. науч.-практ. конф.Ч II. Изд-во ФГОУ ВО КрасГАУ – 2015. – С. 269-272.

24. Федотова, А.С. Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs в почвах аграрного ландшафта, принадлежащего зоне наблюдения Горно-химического комбината / А.С. Федотова // Вопросы радиационной безопасности. Журнал производственного объединения «Маяк» – №1. – 2016 С. 47-54.

25. Федотова, А.С. Влияние малых доз ионизирующего излучения на гематологические и иммунобиологические показатели периферической крови овец/А.С. Федотова // Мат-лы межд. науч.-практ. конф.Ч II. Изд-во ФГОУ ВПО КрасГАУ – 2019. С. 264-268.

26. Федотова, А.С. Гематологические, иммунобиологические показатели крови крупного рогатого скота при техногенном загрязнении агробиоценозов / А.С. Федотова, С.Г. Смолин и др. // Сб. III национ. (всерос.) науч.конф. с междунар. участием: Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос» – 2020.– Т.2 – С. 649-653.

27. Федотова, А.С. Влияние сверхмалых доз ионизирующего излучения на иммунобиологические показатели крови мелкого рогатого скота / А.С. Федотова и др. // Мат-лы всерос.науч.-практ.конф. с международ. участием – Чебоксары, – 2020. – С. 438-443.

28. Федотова, А.С. Кинетика генерации свободных форм кислорода в периферической крови крупного рогатого скота при воздействии «in vitro» малых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова, Г.В. Макарская и др. // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции. г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2020. – С. 96-100.

29. Федотова, А.С. Продукция вторичных радикалов в венозной крови при облучении «in vitro» малыми дозами ионизирующего излучения / А.С. Федотова, Г.В. Макарская, С.В. Тарских / Мат-лы междунар. науч. конф. Красноярск. – 2020. – С. 157-160.

30. Федотова, А.С. Радиационная безопасность молока коровьего в агробиоценозах лесостепной зоны Красноярского края / А.С. Федотова / Сб. науч. трудов по результатам работы Всерос. науч.-практ. конф. Ч1 – Вологда-Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА. – 2020. – С. 179-183.

31. Федотова, А.С. Фагоцитарная активность лейкоцитов при воздействии сверхмалых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова // Тезисы докладов всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск. – 2020. – С. 158-159.

32. Федотова, А.С. Радиоэкологическое обследование агробиоценозов центральных районов красноярского края / А.С. Федотова / Мат-лы II Всерос.науч.-практ. конф. с междунар.участием. Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского – 2020. – С. 299-306.

33. Федотова, А.С. Особенности кинетики генерации первичных радикалов в венозной крови крупного рогатого скота при воздействии «in vitro» малых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова, Г.В. Макарская и др. // Мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Ижевской ГСХА. Ижевск. – 2020. – С. 206-212.

34. Федотова, А.С. Иммуногематологические характеристики клеток крови крупного рогатого скота при воздействии малых доз ионизирующего излучения / А.С. Федотова // Мат-лы национ. науч. конф. Красноярск – 2020. – С. 182-186.

35. Федотова, А.С. Расчет поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота / А.С. Федотова // Сб. мат-лов всерос. науч.-практ. конф с межд. участием посвященная 90-летию ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА – 2020. – Т. I. – С. 378-382.

36. Федотова, А.С. Изменение биохимических показателей крови при воздействии «invitro» малых доз радиации / А.С. Федотова // Актуальные вопросы ветеринарных и сельскохозяйственных наук: мат-лы национ.(всерос.) науч. конф. Института ветеринарной медицины. – Челябинск : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ. – 2021. – С. 81-86.

37. Федотова, А.С. Показатели крови крупного рогатого скота при воздействии «invitro» малых доз ионизирующего излучения /А.С. Федотова / Сб. мат-лов всерос. (национ.) науч.-практ. конф.: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – 2021. – С. 209-213

38. Федотова, А.С. Активные формы кислорода в периферической крови крупного рогатого скота при облучении «in vivo» и «in vitro» в дозе 1,5 мГр / А.С. Федотова, Г.В. Макарская, и др. // Мат-лы междунар. сателлитной конф. «Экологический мониторинг: методы и подходы» и XX междунар. симпозиума «Сложные системы в экстремальных условиях». Красноярск : Сиб. федер. ун-т. – 2021.– С. 230-232.

39. Федотова, А.С. Расчет поглощенных доз ионизирующего излучения для сельскохозяйственных животных Красноярского края / А.С. Федотова // мат-лы междунар. науч.-практ. конф.: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Изд-во ФГОУ ВПО КрасГАУ – 2022. Ч II – С. 431-434.

40. Федотова, А.С. Иммуногематологические характеристики клеток крови при воздействии in vitro поглощенной дозы 1,33 и 1,55мГр / А.С. Федотова // мат-лы междунар. науч.-практ. конф.: Актуальные проблемы ветеринарной медицины – Екатеринбург: Изд-во Уральского ГАУ. – 2022. – С.133-135.

41. Федотова, А.С. Иммуногематологические характеристики клеток крови при воздействии invitro поглощенной дозы 1,33 и 1,55мГр / А.С. Федотова // мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск – 2022– Ч 1.– С 105-109.

42. Федотова, А.С. Изменение фагоцитарной активности клеток крови овец при поглощенной дозе 1,6 мГр/год / А.С. Федотова А.С. // Биология в сельском хозяйстве – 2022 – №4 (37). – С 31-35.

43. Федотова, А.С. Изменение показателей периферической крови коров при субклинических поглощенных дозах ионизирующего излучения / А.С. Федотова // Сб. мат-лов IV междунар. науч. -практ. конф.: Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий. Луганск: ГОУ ВОЛНРЛГАУ – 2023. – С 348-351.

Федотова Арина Сергеевна

ЭКОЛОГО-РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ СУБКЛИНИЧЕСКИХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АГРОБИОЦЕНОЗЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Подписано в печать 25.01.2024. Уч.-изд. л. – 2,0.
Тираж 100. Заказ №124
Типография Красноярского государственного аграрного университета.
660017, г. Красноярск, ул. Ленина, 117