МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственно бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Красноярский государственный аграрный университет

На правах рукописи

Федотова Арина Сергеевна

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

Специальность: 4.2.2. – санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант: доктор
биологических наук, профессор

Колесников В.А.

Красноярск – 2023

Оглавление

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 5
ВВЕДЕНИЕ 7
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 17
1.1 Характеристика основных техногенных дозообразующих радионуклидов 18
1.2 Миграционная активность техногенных дозообразующих долгоживущих радионуклидов в аграрных ландшафтах 20
1.2.1 Характеристика основных долгоживущих дозообразующих техногенных радионуклидов 20
1.2.2 Миграционная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в экосистемах 22
1.3 Влияние малых поглощенных доз радиации на гомеостаз организма животных 38
1.3.1 Влияние малых доз ионизирующего излучения на гематологические, биохимические и иммунологические показатели крови 42
1.3.2 Влияние малых доз ионизирующего излучения на генерацию АФК... 48
1.3.3 Радиобиологические эффекты при воздействии ионизирующего излучения «in vitro» 50
1.4 Моделирование дозовой нагрузки для сельскохозяйственных животных 52
1.5 Интегральная оценка эколого-радиобиологического состояния агробиоценозов 58
1.6 Корреляционные взаимосвязи «доза облучения – радиобиологический эффект» 62
1.7 Характеристика Красноярского края 63
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 68
2.1 Радиоэкологическое обследование агробиоценозов 72
2.2 Клинические, гематологические и биохимические исследования 76
2.3 Иммунологические исследования 80
2.4 Хемилюминесцентный анализ крови 81
2.5 Интегральная оценка радиационной обстановки агробиоценозов 82
2.6 Статистические методы 83
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 85
3.1 Анализ эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края 85

3.1.1 Радиационная обстановка на территории Красноярского края 89
3.1.2 Радиационная обстановка в ФГУП «ГХК» 91
3.1.3 Радиационная обстановка в ФГУП полигона «Северный» 96
3.1.4 Радиационная обстановка в АО «ПО ЭХЗ» 97
3.2 Эколого-радиоэкологическое обследование аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края 104
3.2.1 Радиоэкологическое тестирование почв..... 104
3.2.2 Радиационная безопасность кормов 115
3.2.3 Радиационная безопасность продукции животноводства 120
3.3 Миграционная активность ^{137}Cs в компонентах аграрных ландшафтов Красноярского края..... 122
3.3.1 Модель миграционной активности ^{137}Cs в первом опытном аграрном ландшафте..... 125
3.3.2 Модель миграционной активности ^{137}Cs во втором опытном аграрном ландшафте..... 128
3.4 Дозовая нагрузка на сельскохозяйственных животных в агробиоценозах центральных районов Красноярского края 132
3.5 Радиобиологические эффекты субклинических поглощенных доз ионизирующего излучения в организме сельскохозяйственных животных . 138
3.5.1 Клиническое состояние животных 139
3.5.2 Морфобиохимические изменения в крови коров при субклинических дозах облучения 140
3.5.3 Морфобиохимические изменения в крови овец при субклинических дозах облучения 149
3.5.4 Состояние свободнорадикальных процессов в клетках крови коров при субклинических дозах облучения 156
3.5.5 Состояние свободнорадикальных процессов в клетках крови овец при субклинических дозах облучения 169
3.6 Радиобиологические эффекты в периферической крови коров при облучении «in vitro»..... 177
3.6.1 Морфобиохимические и иммунологические изменения в крови коров при облучении «in vitro» 177
3.6.2 Состояние свободно радикальных процессов в венозной крови лактирующих коров при облучении «in vitro»..... 204

3.7 Анализ тождественности и корреляционной зависимости хемилюминесцентных характеристик крови коров при облучении «in vivo» и «in vitro» 229

3.7.1 Тождественное равенство и корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,33 мГр/год 231

3.7.2 Тождественное равенство и корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,55 мГр/год 239

3.8 Интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов 247

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ 251

ВЫВОДЫ 265

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 269

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 270

ПРИЛОЖЕНИЯ 309

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АО «ПО ЭХЗ» – акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»

АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки

АФК – активные формы кислорода

ГН – гигиенические нормативы

ЗАТО – административно-территориальное образование

ЗН – зона наблюдения

ЕРН – естественные радионуклиды

ЕГАСМРО – единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки.

ИИ – ионизирующее излучение

ИПРО – интегральный показатель радиационной обстановки

ИПРОА - интегральный показатель радиационной обстановки агробиоценозов

КГБУ ЦРМПиООС – краевое государственное бюджетное управление «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края»

КГКУ – «Краевая ветеринарная лаборатория» – краевое государственное казенное учреждение «Краевая ветеринарная лаборатория»

Кн – коэффициент накопления

КП – кратность перехода

КУ – контрольные уровни

МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы

МД – максимальная доза

МЭД – мощность эквивалентной дозы

н.д. – нет данных

НРБ – нормы радиационной безопасности

ОА – объемная активность

ОСПОРБ – «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности»

ОБЭ – относительная биологическая эффективность

ПБиВМ – прикладной биотехнологии и ветеринарий медуницы

ПД – продукты деления

ПДК – предел допустимой концентрации

ПОЛ – перекисное окисление липидов

СанПиН – санитарные правила и нормы

СЗЗ – санитарно-защитной зоны

СОД – супероксиддисмутазы

СП – санитарные правила

$Т_{эфф}$ – эффективный период полувыведения

Т ½ – период полураспада

УВ – уровень вмешательства

ФГБУ «Среднесибирское УГМС» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

ФГУП ГХК – Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат»

ФГУ ГЦАС – Федеральное государственное учреждение государственный центр агрохимической службы

ХЛ – хемилюминесценция

ЭРОА – эквивалентная равновесная объёмная активность

LNT – линейная беспороговая модель

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Увеличение радиационного фона аграрных ландшафтов является значимой радиобиологической проблемой. Космическое излучение и излучение природных и техногенных радионуклидов, присутствующих в окружающей среде, продукции растениеводства и животноводства, относятся к числу значимых факторов, негативно действующих на организм животных и человека. Изучение миграционной активности техногенных радионуклидов привлекает внимание многих исследователей (Андреева Н.В. (2018), Арышева С.П. (2018), Базарбаев Н.Н. (2022), Кочиш И.И. (2014), Цветнова О.Б. (2021)) является важным направлением деятельности научно-исследовательских учреждений и органов государственной власти [13, 19, 23, 103, 212]. К настоящему времени достаточно хорошо изучено состояние радиационной обстановки на территориях с аномально высокими уровнями радиоактивного загрязнения, обусловленного радиационными авариями или локальными следами испытаний ядерного оружия: Богинская А.И. (2018), Кисилев С.М. (2017), Кречетников В.В. (2018), Кузнецов В.К. (2018), Панов А.В. (2017), Переволоцкий А.Н. (2020), Титов А.В. (2019), Фесенко С.В. (2022), [29, 96, 106, 117, 153, 159, 197, 210].

В настоящее время основной интерес радиоэкологов связан с изучением уровней загрязнения и миграции радионуклидов в потенциально опасных районах и аграрных ландшафтах, находящихся в непосредственной близости к предприятиям ядерно-топливного цикла (Аверин В.С. (2015), Гулаков А.В. (2021), Звоновой И.А. (2020), Панченко С.В. (2019), Ostoich P (2022) [2, 67, 82, 157, 269]. На территориях с дополнительным радиоактивным загрязнением биота испытывает радиационное воздействие в малых дозах, существуют работы по оценке степени их влияния на состояние биологических объектов. Изучение степени влияния техногенной нагрузки на компоненты биосферы выполнено учеными радиоэкологами: Бурлаковой Е.Б. (2007), Епимаховым В.Г. (2017),

Исамовым Н.Н. (2002), , Переволоцким А.Н. (2020), Спириным Е.В. (2009), Panov A.V. (2019) [2, 36, 79, 88, 159, 188, 267].

На территории РФ есть регионы с напряженной радиационной ситуацией, Красноярский край относится к таким территориям. На большей части Красноярского края радиационная обстановка оценивается как благополучная, однако в центральных районах края существует очаговое, точечное загрязнение поймы р. Енисей антропогенными радионуклидами, сформированное в результате деятельности ФГУП «Горно-химический комбинат» [22, 62]. ФГУП «Горно-химический комбинат» является предприятием первой категории потенциальной радиационной опасности. Радиоэкологами Зотиной Т.А. (2022), Мартыновой А.М. (1997), Ракитским В.Н. (2018), Сухоруковым Ф.В. (2004) на территории локальных загрязнений определена удельная активность техногенных радионуклидов, их миграционная способность, но большинство научных работ посвящено антропогенному загрязнению водной биоты р. Енисей [73, 84, 127, 173, 193]. Работ по оценке миграционной активности техногенных радионуклидов в условиях аграрных ландшафтов ограниченное количество. Кроме того, в центральных районах Красноярского края выявлены многочисленные природные радиоактивные аномалии, эти территории относятся к «опасным площадям» и к числу ведущих аграрных регионов края [22]. Изучение эффектов воздействия повышенного уровня радиации на биологические объекты в условиях агробиоценозов является одной из актуальных проблем современной сельскохозяйственной экологии.

В последние годы принципиально изменились представления о реакциях организма на действие ионизирующего излучения в малых дозах. В отличии от воздействия радиации в значительных дозах, вызывающих специфические ответные реакции организма с четкой зависимостью «доза-эффект», влияние ионизирующего излучения в малых дозах не формирует специфических клинических изменений, однако воздействует на клетки и ткани организма и приводит к изменению гомеостаза: Аверин В.С. (2015), Гулаков А.В. (2021), Костенко С.А. (2014) [2, 67, 101]. Существует незначительное количество работ

по оценке степени воздействия радиации в малых дозах на здоровье и продуктивность сельскохозяйственных животных: Донник И.М. (2012) Исамов Н.Н. 2002, Карпенко А.Ф. (2020), Михеева Е.А. (2006) [71, 89, 94, 134]. Имеются исследования Бурлаковой Е.Б. и Чуковой Ю.П. описывающие бимодальное развитие радиобиологических эффектов в тканях при действии ионизирующего излучения в малых дозах [36, 214]. Особенно важным для оценки возможных радиобиологических изменений представляется исследование периферической крови, играющей ключевую роль в поддержании гомеостаза и адаптации организма к воздействию ионизирующего излучения в различных дозах: Антонишкис Ю.А. (2013) , Асташева Н.П. (2017), Орлов Д.Ю. (2015), Петряков В.В. (2017), Сафонова (2008), Шевченко Т.С. (2013), [17, 20, 149, 162, 181, 216]. По мнению Alesina M.U. (1999), Vladimirov Yu. A (2009) процессы генерации АФК клетками организма являются чувствительными к воздействию даже слабых доз ионизирующего излучения [227, 287]. Высокочувствительные хемилюминесцентные методы позволяют адекватно отражать состояние свободнорадикальных процессов, это дает возможность выявить их незначительные изменения при различных физиологических состояниях. В настоящее время хемилюминесцентные методы широко используются для мониторинга антиоксидантных и прооксидантных свойств биологических систем. Таким образом, к настоящему времени в научной литературе недостаточно данных, комплексно оценивающих влияние ионизирующего излучения в диапазоне малых доз на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных.

Материалы диссертационных исследований соответствуют стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, п.2 (г) от 01.12.2016 г. № 642: «Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных,

продуктов питания»; основным приоритетным направлениям государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае, постановление Законодательного Собрания Красноярского края от 07 июля 2009 г. № 8-3635 П (в ред. от 09.06.2011 г. № 12-5999П, от 26.06.2014 г. № 6-2533П, от 26.06.2014 г. № 6-2544П), п.17 «Биоинформационные, биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных», п. 18 «Экологические биотехнологии и биоинженерия», а также утвержденной госбюджетной тематике научно-исследовательских работ (протокол №2 от 30.10.2017 г.) кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, института ПБиВМ ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ – «Эколого-токсикологические аспекты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и радионуклидами и их влияние на ткани, и органы сельскохозяйственных животных и рыб».

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

В связи с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Провести анализ эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края, выделить на территории Красноярского края аграрные ландшафты с техногенной радиоэкологической нагрузкой.

2. Выполнить радиоэкологическое обследование агробиоценозов с различной дозовой нагрузкой, оценить миграционную активность техногенных радионуклидов и радиационную безопасность сельскохозяйственной продукции

3. Рассчитать дозовую нагрузку на сельскохозяйственных животных в агробиоценозах с различным радиоэкологическим статусом.

4. Оценить радиобиологические эффекты в крови сельскохозяйственных 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 аграрных ландшафтов по техногенному радиоактивному загрязнению. Выявлено дополнительное антропогенное радиоактивное загрязнение звеньев трофической цепи аграрных ландшафтов, находящихся в зоне наблюдения Федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП) «Горно-химический комбинат» (ГХК). Впервые в работе представлен комплекс количественных данных о структурных изменениях и функциональной активности периферической крови сельскохозяйственных животных в диапазоне субклинических доз ионизирующего излучения. Показана высокая чувствительность хемилюминесцентного метода при оценке радиобиологических эффектов при действии малых доз ионизирующего излучения на периферическую кровь. Получены новые данные хемилюминесцентных характеристик периферической крови крупного и мелкого рогатого скота и степень отклонения этих показателей у животных из районов с повышенной поглощенной дозой ионизирующего воздействия. Установлена корреляционная зависимость между хемилюминесцентными 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, хемилюминесцентных показателей крови сельскохозяйственных животных при воздействии субклинических доз ионизирующего излучения. Для оценки радиационной опасности аграрных ландшафтов предложен интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов, определен набор эколого-радиобиологических индексов.

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

Результаты работы были внедрены в работу следующих организаций: «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологии РАН» р.п. Краснообск, Новосибирская область; бюджетное учреждение Республики Алтай «Республиканская ветеринарная лаборатория» г. Горно-Алтайск; КГКУ «Краевая ветеринарная лаборатория» г. Красноярск; АО «Научно-исследовательский и производственный центр «Природа» Красноярский филиал; КГКУ «Железногорский одел ветеринарии» ЗАТО г. Железногорск, Красноярский край. Результаты исследований применяются в учебном процессе: ФГБОУ ВО «Омский ГАУ», г. Омск; ФГБОУ ВО «Горно-алтайский государственный университет» г. Горно-Алтайск; ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ» г. Красноярск.

Научно-исследовательская работа являлась частью двух грантов: РФФИ 18-44-240004 р_а «Роль активных форм кислорода в клеточных процессах при низкодозовых радиационных нагрузках на примере морских бактерий и клеток периферической крови сельскохозяйственных животных»; РНФ 23-26-10018 «Прогнозирование реакции сельскохозяйственных животных на низкоинтенсивную радиацию и применение радиопротекторов. Экспрессный биолюминесцентный скрининг радиобиологических эффектов».

Методология и методы исследований. В качестве методологического основания для выполненных исследований служили труды российских и зарубежных ученых по теме работы в области радиоэкологии техногенных радионуклидов, оценки влияния малых доз ионизирующего излучения на гомеостаз организма животных. При выполнении научно-исследовательской работы применялись радиоэкологические, спектрометрические, физиологические, гематологические, биохимические, хемилюминесцентные и статистические методы исследования.

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 удельную активность ^{137}Cs в агропродукции.

4. Дозовая нагрузка на сельскохозяйственных 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 сельскохозяйственных животных малые дозы

ионизирующего 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 хемилюминесцентных характеристик периферической крови при воздействии субклинических доз ионизирующего излучения «in vivo» и «in vitro».

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

Личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, выносимых на защиту. Автором выполнены полевые исследования в условиях агробиоценозов центральных районов 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. При технической поддержке сотрудников лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь» – филиал АО «ГК ШАНЭКО» в г. Красноярске, ФГБУ ГЦАС «Красноярский» проведен спектрометрический анализ почвы и кормов. Техническая помощь при проведении хемилюминесцентного анализа оказана сотрудниками международного научного центра исследований экстремальных состояний организма при президиуме ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

Апробация работы. Международная научно-практическая конференция «Наука и образование: опыт. Проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2012-2023); Международная научная конференция, посвященная 175-летию со

дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 2018); International Conferenceon Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies – AGRITECH-I, II 2019 (Krasnoyarsk, 2019); III национальная (всероссийская) научная конференция с «Теория и практика современной аграрной науки» (Новосибирск, 2020); Всероссийская научная конференция «Состояние, проблемы и перспективы развития агарной науки на современном этапе» (Чебоксары, 2020); Международная научно-практическая конференция «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве» (Обнинск, 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «Передовые достижения науки в молочной отрасли» (Вологда, 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» (Благовещенск, 2020); II Всероссийская научно-практическая конференция (Иркутск, 2020); Международная научно-практическая конференция «Современная ветеринарная наука: теория и практика» (Ижевск 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России» (Иваново, 2020); Национальная (всероссийская) научная конференция «Актуальные вопросы ветеринарных и сельскохозяйственных наук» (Троицк, 2021); Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики» (Омск, 2021); научно-практическая конференция молодых ученых «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса» (Пенза, 2021); Международная сателлитная конференция «Экологический мониторинг: методы и подходы» и XX международный симпозиум «Сложные системы в экстремальных условиях» (Красноярск, 2021); II International Conferenceon Advancesin Materials, Systems and Technologies (Krasnoyarsk, 2021); V International conference AGRITECHV – 2021: agribusiness, environmental engineering and biotechnologies. (Krasnoyarsk, 2021); Международная научно-практическая конференция «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК»

(Екатеринбург, 2022); Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий» (Луганск, 2023); 3-я Международная научно-практической конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения профессора В.А. Киршина «Актуальные проблемы радиобиологии, агроэкологии и радиационных технологий в АПК» (Казань, 2023).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 44 научные работы, из них 10 – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 3 – в журналах международной базе данных Scopus и Web of Science. Опубликовано 2 монографии и 2 учебных пособия.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследований, результатов собственных исследований, обсуждения результатов исследования, 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 включает 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» – филиал АО «ГК ШАНЭКО» и лично Григорьеву А.И., сотруднику лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» Пряхиной Л.А., сотрудникам лаборатории МНЦ исследований экстремальных состояний организма при Президиуме ФИЦ КНЦ СО РАН канд. биол. наук, старшему научному сотруднику Макарской Г.В. и ведущему инженеру Тарских С.В. за техническую поддержку и консультативную помощь.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Все компоненты биосферы, включая простейших, многочисленные царства растений, животных и человека, на протяжении всей эволюции испытывали воздействие ионизирующего излучения. На элементы биосферы постоянно действует комическая радиация, бета-, гамма-излучение многих природных и техногенных радионуклидов, находящихся в горных породах, почве, воде подземных и поверхностных водоисточников, в атмосферном воздухе и в воздухе помещений, а также входящих в состав живых организмов. Совокупность природных радионуклидов в объектах биосферы формирует естественный радиационный фон [7, 73].

Среди природных радионуклидов основную дозообразующую роль имеют изотопы, составляющие семейство урана и тория и природный радиоактивный изотоп калия – ^{40}К. В результате деятельности человека природные радионуклиды могут попадать и аккумулироваться в окружающей среде биологических объектов, в объектах производства, в том числе в минеральных строительных материалах, используемых для возведения зданий; в промышленной продукции и отходах производства. В результате формируется природный усиленный радиационный фон, который может внести значительный вклад в формирование поглощенной и эквивалентной дозы.

Техногенные (антропогенные) радионуклиды, поступающие в окружающую среду при работе атомных электростанций, поступившие ранее при производстве, испытаниях ядерного оружия и крупных радиационных авариях вносят дополнительный вклад в радиационный фон. Наличие техногенных радионуклидов в окружающей среде приводит к искусственному антропогенному увеличению радиационного фона и как следствие к повышению значений поглощенных и эквивалентных доз для животных и человека [14, 15, 31, 159].

1.1 Характеристика основных техногенных дозообразующих радионуклидов

Техногенные изотопы являются дополнительным источником радиационного облучения живых организмов. Антропогенные радионуклиды образуются в результате деятельности человека при работе атомных электростанций; при радиационных авариях; запланированных выбросах в атмосферу. В прошлом веке значительное количество техногенных радионуклидов поступили в биосферу при производстве, испытании и применении ядерного оружия. При делении урана возникает примерно 250 изотопов 35-и элементов (из которых 225 радиоактивных), в результате реакции образуются осколки деления ядер тяжелых элементов (^{235}U, ^{239}Pu, ^{233}U, ^{238}U) и продукты их распада. В результате испытаний ядерного оружия в прошлом веке 40 % стронция (^{90}Sr) – $14,8\times10^{16}$ Бк и цезия (^{137}Cs) – $25,9\times 10^{16}$ Бк выпало в районе испытаний в виде локальных осадков, такое же количество техногенного цезия и стронция было привнесено в окружающую среду в форме глобального загрязнения. При этом ^{90}Sr ($7,4\times10^{16}$ Бк) и ^{137}Cs ($14,8\times10^{16}$ Бк) попали в стратосферный резервуар, основное количество находилось в Северном полушарии [31].

В результате радиационных аварий (последняя в 2011 г. на АЭС Фукусима-1, Япония) значительно увеличился уровень глобального техногенного фона, на определенных территориях образовалось локальное техногенное загрязнение [165а, 165б, 165в]. В настоящее время Остоич П. определяет масштаб выбросов в атмосферу при радиационных авариях: ЧАЭС (СССР) – 12000 ПБк, Фукусима -1 (Япония) – 630 ПБк; Маяк (СССР) – 1850 ПБк; Меловая река (Канада) – 0,3 ПБк, Виндскейл (Великобритания) – 1,6ПБк; Сими-Вэлли (США) – 200 ПБк; Три-Майл-Айленд (США) – 1,6ПБк. Основными дозообразующими в долгосрочной перспективе техногенными радионуклидами радиационных аварий считают ^{137}Cs ^{90}Sr [114].

В атомной энергетике синтезируют и эксплуатируют техногенные

изотопы, удельная активность которых значительно превосходит радиоактивность естественных источников. В связи с этим в настоящее время именно радиоактивные отходы промышленных предприятий и установок (исследовательские реакторы и реакторы атомных электростанций, предприятия по переработке ядерного топлива), лабораторий научно-исследовательских институтов, работающих с радиоактивными веществами высокой активности формируют основной вклад в загрязнение окружающей среды [158, 170, 223].

В результате систематического, длительного поступления антропогенных радионуклидов они вошли в состав компонентов биосферы и включились в круговорот веществ. Длительно присутствуя в биосфере антропогенные изотопы сочетано с природными источниками ионизирующей радиации постоянно влияют на живые организмы. Совместное действие антропогенных и природных изотопов на различных территориях сильно отличается. Поглощенная доза, формируемая природными источниками радиации в организме животных, находящихся в естественных (обычных) условиях не провоцирует патологические изменения в тканях и органах. Техногенное увеличение дозовой нагрузки на организм животных системой гомеостаза воспринимается как стресс. В результате стресса в организме возможно возникновение изменений в кровеносной, лимфатической системах, в обмене веществ, это провоцирует нарушение гомеостаза организма [14, 243]. Из антропогенных изотопов, составляющих радиационную опасность для организма, традиционно рассматриваются следующие: цезий (^{137}Cs) и стронций (^{90}Sr), так как они в подавляющем большинстве среди долгоживущих изотопов образуются при делении ядер изотопов ^{238}U. Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах биосферы, в аграрных ландшафтах считается основным критерием определения техногенной радиоактивной нагрузки, концентрация этих изотопов является одним из параметров радиационного мониторинга агроэкосистем. Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции растениеводства и животноводства контролируется нормативными документами.

1.2 Миграционная активность техногенных дозообразующих долгоживущих радионуклидов в аграрных ландшафтах

Миграция антропогенных изотопов в настоящее время происходит в экосистемах локальных радиоактивных катастроф и в экосистемах, отягощенных размещением предприятий Росатома РФ. В газо-аэрозольных выбросах АЭС присутствуют техногенные изотопы: ^{3}H, ^{14}C, ^{129}I, ^{131}I, ^{90}Sr, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs, продукты коррозии реактора и осколков деления ядер урана ^{51}Cr, ^{54}Mg, ^{95}Nb, ^{106}Ru, ^{144}Ce, а в жидких сбросах – ^{3}H, продукты деления и продукты активации. В выбросах и сбросах регенерационных заводов в большинстве находятся долгоживущие радионуклиды, имеющие глобальное значение: ^{3}H, ^{14}C, ^{85}Кг, ^{90}Sr, ^{106}Ru, ^{129}I, ^{134,137}Cs и трансурановые элементы. В ядерном топливном цикле искусственные радионуклиды нарабатываются в ядерных реакторах АЭС и поступают в окружающую среду. Выбросы регенерационных заводов составляют значительную долю общих выбросов предприятий ядерно-топливного цикла: 99% – выбросы ^{3}H, ^{85}Кг, ^{129}I и 70-80% выбросы ^{14}C [155].

1.2.1 Характеристика основных долгоживущих дозообразующих техногенных радионуклидов

Кобальт (^{60}Co) – это бета-активный изотоп, образуется при бомбардировке нейтронами стабильного ^{59}Co, образуется в атомном реакторе как побочный элемент, период полураспада (T½) T½=5, 27 лет. Используется в лучевой противоопухолевой терапии; радиохирургии различных патологий; для стерилизации продуктов питания, медицинских инструментов и материалов; обеззараживания и очистки промышленных стоков, твёрдых и жидких отходов различных видов. Имеет достаточную миграционную активность в цепи почва-растение, в организме животных накапливается в печени, мышцах, щитовидной железе, надпочечниках, почках, лимфатических узлах, поджелудочной железе, волосе и жировой ткани, из организма выводится с калом и мочой.

Тритий (^{3}H) – это β-излучатель с очень низкой энергией, единственный радиоактивный изотоп водорода, T½=12,34 года. Тритий образуется в ядерном

реакторе в результате тройного деления урана, присутствует в выбросах в атмосферу и гидросферу АЭС, является одним из основных радионуклидов, формирующих дозу в результате работы АЭС [24]. За последние годы среднемировые индивидуальные дозы облучения населения за счет выбросов ^{3}H увеличились в 4 раза, а за счет сбросов в гидросферу – в 7 раз. Поведение ^{3}H в почве описывается закономерностями поведения H_2O и зависит от взаимодействия различных процессов ее переноса. В виде H_3OH и других соединений включается во все реакции, присущие биогеохимическому циклу водорода, включая процессы почвообразования, образования биоорганического вещества и др. В организме животных имеет высокую миграционную активность, депонируется в костной ткани, в мягких тканях задерживается менее 1%. За счёт отложения может длительно воздействовать на костную ткань, что приводит к развитию остеосарком. При депонировании в костях активно воздействует на красный костный мозг, что приводит к нарушению гемопоэза.

Стронций (^{90}Sr) – это β-излучатель, Т ½=28,6 лет, является дочерним продуктом β-распада ^{90}Rb (Т½=158 с.) и его изомеров, ^{90}Sr претерпевает β-распад, образуя иттрий ^{90}Y. В биосфере по химическим свойствам аналогичен кальцию, валентность II. В атмосфере образует оксиды, гидроксиды, соли (карбонаты, нитраты и сульфаты), выпадает из газо-аэрозольного состояния в водорастворимой форме (30-90%), благодаря взаимодействию SrO с CO_2 и H_2O в атмосфере образуются: $Sr(OH)_2$, $SrCO_3$ и $Sr(HCO_3)_2$. Часть ^{90}Sr фиксируется в составе силикатных конгломератов, со временем доля растворимых форм ^{90}Sr в выпадениях увеличивается вплоть до полного исчезновения твердой фазы. Значительная часть ^{90}Sr в выпадениях (до 85%) находится в катионной форме и способна к быстрому обмену с окружающей средой, этим объясняется значительное его распространение в окружающей среде. В почвах ^{90}Sr содержится в обменных формах, в почвенном растворе отличается хорошей растворимостью и высокой подвижностью [199]. Из-за химического сродства с Са и связанной с этим способностью интенсивно поглощаться растениями и

депонироваться в костной ткани животных и человека, ^{90}Sr является одним из наиболее важных для радиоэкологии радионуклидов.

Цезий (^{137}Cs) – β и γ-активный элемент, Т ½=30,2 года, образуется в цепи $^{137}1 \rightarrow ^{137}Xe \rightarrow ^{137}Cs \rightarrow ^{137}mBa \rightarrow ^{137}Ba$ [196], при распаде ^{137}Cs излучаются бета-частицы с энергией 1,462 МэВ и гамма-кванты. В биосфере ^{137}Cs идентифицируется как аналог калия, образует водорастворимые соединения: $CsNO_3$, CsCl, Cs_2CO_3, в связи с этим обладает высокой миграционной активностью. В водоемах – охладителях АЭС накапливается в донных отложениях – 95%, в воде – 5%, в гидробионтах – 0,1%. Благодаря идентичности с калием изотоп равномерно распределяется почти во всех объектах биосферы, в живых организмах^{137}Cs депонируется в мягких тканях, в основном в мышцах и печени.

Европий (^{152}Eu) β-, γ-излучатель, ½ Т=13,5 лет, образуется путем выгорания стабильного изотопа ^{151}Eu, 70% ^{152}Eu путем β-распада превращается в стабильный изотоп ^{150}Gd и в 30% путем позитронного распада образует ^{152}Sm. Изотоп ^{152}Eu в почве характеризуется низкой растворимостью, он легко осаждается и связывается с комплексообразующими ионами (гидроксиды, карбонаты, фториды, фосфаты и органические лиганды) [102]. В организме животных всасывание ^{152}Eu зависит от пути поступления, при алиментарном поступлении коэффициент резорбции менее 1 %, при поступлении аэрогенным путем резорбция до 50 %. В организме депонируется в скелете, печени и почках, эффективный период выведения из костной ткани более 2,5 лет, из печени около 22 суток из почек – 29 суток. Эффективные периоды полувыведения ^{152}Eu из организма: Т1=9,6 сут. (35%), Т2 = 28,7 сут. (20%), Т3=более 2,5 года (45%). Выделяется изотоп из организма преимущественно с калом. При попадании ^{152}Eu в количестве $29,6 \times 10^4 – 59,2 \times 10^4$ Бк/г развивается острая лучевая болезнь, при которой резко выражены лейкопения и анемия.

1.2.2 Миграционная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в экосистемах

Исследования миграционной активности техногенных радионуклидов

выполнены учеными на территориях, загрязненных техногенными радионуклидами в результате многолетней штатной деятельности АЭС, аварийных ситуаций, на полигонах испытаний ядерного оружия [18, 50, 85, 172, 246, 254, 267, 275].

Миграционная активность в звене почва-растение. Поступление ^{137}Cs в растения происходит двумя путями: оседание из атмосферы на поверхность вегетативной части растений и движение из почвенного раствора через корневую систему в вегетативную часть растений. В первое время после радиоактивного загрязнения территории миграция радионуклидов происходит в основном благодаря оседанию на наземные части растений, в последующем доминирует корневая миграция радионуклида [76]. Главным источником миграции ^{137}Cs в вегетативную массу растения является почва, она депонирует изотопы ^{137}Cs путем механической фиксации нерастворенных в воде молекул на поверхности почвы и сорбцией водорастворимых соединений изотопа почвенными молекулами [273, 274, 276]. По законам сорбции водорастворимая часть ^{137}Cs депонируется в верхнем слое почвы. Верхний слой почвы (0-5 см) имеет значительную сорбционную способность благодаря содержанию значительного количества гумусовых веществ, обладающих высокой ионообменной емкостью депонирования и высоким потенциалом комплексообразующего связывания изотопа в катионной и анионной формах. По данным И.Ю. Москалева, ^{137}Cs в сравнении с ^{90}Sr прочно фиксируется в почве, 1 % ^{137}Cs переходит в водную вытяжку, это объясняется вхождением ^{137}Cs в кристаллическую решетку минералов, концентрация ^{137}Cs в вегетативной части растения меньше, чем ^{90}Sr [136]. Степень загрязненности почвы аграрных и природных ландшафтов зависит от типа почв, степени их окультуренности, видов применяемых агротехнических манипуляций (при наличии), количества атмосферных осадков, видового состава растений [28, 180, 226]. Коренное улучшение сенокосных и пастбищных биогеоценозов путем внесения органических удобрений существенно увеличивает миграционную активность ^{137}Cs в растения. По данным зарубежных ученых и А.А. Булгакова доступность ^{137}Cs для растений в

почвах, имеющих схожие агротехнические характеристики, может сильно отличаться в зависимости от ряда показателей, из которых ведущим является концентрация обменного и остаточного калия (К) [23, 33, 240]. Роль обменного К выражается в конкуренции между ионами ^{137}Cs и К [176, 252]. в процессе миграции. Влияние обменного К в почве на миграционную активность ^{137}Cs в растения на обсуждалась в научных публикациях многих радиоэкологов [203, 276], миграционная активность ^{137}Cs в вегетативную часть растения снижается с увеличением концентрации калия в почвах. Проведение реабилитационных мероприятий снижает миграционную активность ^{137}Cs в растения [13, 19].

Прочная фиксация ^{137}Cs в почвенных частицах, незначительное его содержание в почвенном растворе являются основным фактором его медленной вертикальной миграции с водным раствором вниз по профилю почвы. Через три, четыре года после загрязнения ^{137}Cs поверхности почвы, средняя глубина его вертикальной миграции составляла 2 см, в почвах с достаточным количеством органического вещества наблюдалась более высокая миграционная активность ^{137}Cs [33, 252]. В условиях естественных сельскохозяйственных угодий (естественные агробиоценозы) ^{137}Cs вне зависимости от типа почв, на протяжении многих лет находится в верхних слоях почвы. Строение корневой системы растений обуславливает миграцию ^{137}Cs в вегетативную часть, растения имеющие мочковатый тип корневой системой сорбируют питательные вещества из почвы из верхнего 10 см слоя, поэтому удельная активность ^{137}Cs в них будет выше, чем в растениях со стержневым типом корневой системы.

В исследовательской работе [190] по определению миграционной активности ^{137}Cs в почвах юго-западных районов Брянской области показана вертикальная миграционная активность ^{137}Cs по профилю почвы. Исследования были выполнены только в природных биоценозах. А.В. Стародубовым было выявлено, что верхние 10 см почвы содержат 75 % ^{137}Cs. Заглубление ^{137}Cs произошло на 20 см, выявлены единичные пробы с глубины 50-65 см содержащие ^{137}Cs. Автор исследований делает акцент на концентрировании ^{137}Cs на ожелезненных слоях подпочвенного горизонта (мелкозернистый песок с

высокой концентрацией оксида железа).

В работах О.Б. Цветновой, А.И. Щеглова об особенностях распределения ^{137}Cs и тяжелых металлов в почвах в 30-километровой зоны Смоленской АЭС приведены данные о загрязнении почв Десногорского лесничества Смоленской области ^{137}Cs. Выявлены максимальные концентрации ^{137}Cs в почвах водораздельных пространств, основная доля ^{137}Cs сосредоточена в верхних слоях почвенных профилей, с глубиной концентрация ^{137}Cs снижается. В хвойных ценозах ^{137}Cs аккумулируется в горизонте 0-1 см почвы, лесная подстилка является биогехимическим барьером при его вертикальной миграции. В почвах лиственных лесов ^{137}Cs равномерно распределен на глубину 15-20 см. В почвах залежи и болотно-торфяных основная доля ^{137}Cs находится на глубине 0-5 см. Авторами работы достоверно показано, что миграционная активность ^{137}Cs в хвойных лесах и болотах обусловлена дифузным переносом, почвах лиственных лесов – биогенно-конвективным переносом. Почва хвойных лесов имеет активные барьерные функции [213].

И.И. Кочиш в научной работе об особенностях вертикального распределения радионуклидов в почвах луговых агроценозов Шатурского района Московской области указывает, что по состоянию на 2014 год на целинных луговых агроценозах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, происходит заглубление ^{137}Cs по профилю почвы. Автор отмечает, что 62,4 % ^{137}Cs сосредоточены на глубине до 10 см, 37,6 % ^{137}Cs находятся на глубине от 10 до 20 см [103].

В работе Т.М. Федченко [206] о распределении ^{137}Cs в почвах на территории Новочеркасской ГРЭС доказано, что миграция ^{137}Cs по глубине зависит от физико-химических свойств почв и от степени техногенной нагрузки, существенное влияние на поведение ^{137}Cs оказывает гранулометрический и фракционный состав почв. Определен характер и размеры вертикальной миграционной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr. И.В. Ефремов на основании результатов корреляционного анализа приходит к заключению, что содержание в почвах K_2O и P_2O_5, Cr, ^{90}Sr определяют концентрацию ^{137}Cs в полыни обыкновенной.

Концентрация в почве катионов К, валового K_2O и P_2O_5, Cr, ^{90}Sr определяет удельную активность ^{137}Cs в тысячелистнике. Удельная активность ^{137}Cs в пшенице находится в зависимости от концентрации сульфатов серы(S) магния(Mg), свинца (Pb) в почве [77].

А.М. Давыденко и его соавторами определено распределение ^{137}Cs в почвах луговых и горных степных территорий Ростовской области и республики Адыгея, установлено, что в луговых почвах Северного Кавказа ^{137}Cs в основном распределяется в верхних горизонтах. В почвах степных территорий ^{137}Cs регистрируется до глубины 25-30 см, с максимальной концентрацией в поверхностном слое почвы 0–10 см. Максимальная удельная активность ^{137}Cs зарегистрирована в аллювиально-луговой глеевой тяжелосуглинистой почве. В почвах горных районов распределение ^{137}Cs прослеживается на глубину до 70 см, это связано с промывным режимом, в результате которого ^{137}Cs увлекается на достаточную глубину. В горных почвах ^{137}Cs равномерно распределяется до глубины 15-25 см, имея при этом среднюю удельную активность 35,9 Бк/кг. Из горных почв по концентрации ^{137}Cs выделяется горно-луговая альпийская ненасыщенная легкосуглинистая почва на элювии известняков, на глубине 7 см ^{137}Cs регистрируется в концентрации 17 Бк/кг [69].

В исследованиях О.Б. Цветновой оценено загрязнение ^{137}Cs почв юго-запада Крымского полуострова и определено, что удельная активность ^{137}Cs обусловленная аварией на ЧАЭС к 2020 году снизилась в 2-4 раза. Увеличилась пространственная неоднородность распределения ^{137}Cs, изотоп регистрируется в концентрации 1-22 Бк/кг, высокие концентрации наблюдаются на склонах с наветренной стороны [212].

Неганова К.С. оценила распределение ^{137}Cs в почвах степных и горных территорий Ростовской области [144]. В результате установлено, что в период с 2010 по 2014 год ^{137}Cs в степных почвах находился на глубине 1-5 см, хотя следовые количества регистрируются на глубине до 95 см. Удельная активность ^{137}Cs в почве горных территорий равномерно распределена по всему почвенному профилю (0-65 см), такое распределение ^{137}Cs автор связывает с особенностями

почвообразования: промывной тип водного режима, высокая концентрация минеральных пород, способствующими увеличению подвижности ^{137}Cs по почвенному профилю [144].

Распределение ^{137}Cs в почвах южных степей Западной Сибири оценено Ю.А. Мирошниковым и его соавторами и выявлено, что удельная активность ^{137}Cs в черноземах, солончаках и глеезёмах степей Западной Сибири имеет экспоненциальный характер. Вертикальное распределение ^{137}Cs отклоняется от поверхностно-аккумулятивного, значимая (более 3 Бк/кг) активность ^{137}Cs выявлена на глубине до 6-7 см, там регистрируется основная масса ^{137}Cs – 77 %. [133].

Оценка распределения удельной активности ^{137}Cs в почвах юга Хабаровского края проведена Т.И. Матвиенко, установлено, что на сельскохозяйственных угодьях Хабаровского края значения гамма-фона принадлежат диапазону 9-13 мкР/ч, максимальная удельная активность ^{137}Cs обнаружена в горизонте 0-20 см, отмечена экспоненциальная зависимость снижения удельной активности ^{137}Cs почвах с увеличением глубины [128].

В работе С.В. Лукина и Р.М. Хижняка оценено техногенное загрязнение почв Белгородской области, установлено, что в тёмно-серой лесной почве под пологом леса ^{137}Cs регистрируется на глубине до 15 см, в целинном чернозёме – до 30-40 см. Авторами выявлена экспоненциальная зависимость снижения удельной активности ^{137}Cs с глубиной, средняя удельная активность ^{137}Cs в почвах составляет 33,4±6,9 Бк/кг, ^{137}Cs распределен неоднородно, коэффициент варьирования составляет 43,9 % [123].

В Тамбовской области, по данным А.Г. Шубиной, в хозяйствах Рассказовского района содержание радионуклидов в почве превышает средний фон по России, в полевом севообороте отмечена удельная активность ^{137}Cs в диапазоне 25,6-43,3 Бк/кг [219].

Д.Г. Мустафиной оценено загрязнение ^{137}Cs почв Оренбургской области, в результате выявлено, что удельная активность почв изменялась в диапазоне 0,3-7,03 Бк/кг, данные значения не превышают нормы и изменяются в пределах

фоновых значений, характерных для почв территории РФ [143].

Оценка радиационных показателей на почвах пастбищ Оренбургской области, выполненная М.С. Сеитовым в 2013 году, показывает, что удельная активность ^{137}Cs в темно-каштановых почвах наблюдается в интервале 8,4-9,7 Бк/кг [182].

Оценка удельной активности ^{137}Cs в почве, травостое естественных пастбищных угодий и продукции оленеводства в Ханты-Мансийском автономном округе выполнена Л.Н. Скрипиным и другими [186]. Территория Ханты-Мансийского автономного округа была загрязнена техногенными радионуклидами в результате проведения подземных ядерных взрывов. Определено, что удельная активность ^{137}Cs в почвах находится в диапазоне 0,7-12,3 Бк/кг, что находится в диапазоне значений глобального техногенного радиоактивного загрязнения. [186].

В работе А.В. Паницкого и других определено загрязнение ^{137}Cs почв Семипалатинского полигона, установлены максимальные значения ^{137}Cs до глубины 10 см, при этом светло-каштановые почвы склонов и сопок имели максимальные концентрации ^{137}Cs на глубине 5 см [156].

Анализ научных работ, посвященных оценке миграционной активности ^{137}Cs, выполненных как российскими, так и зарубежными учеными, показывает, что ^{137}Cs в большинстве почв находится в верхних слоях почвы (до 20 см), концентрация его экспоненциально убывает с глубиной. Концентрация ^{137}Cs в почве зависит от ее типа, содержания гумуса, обменного и остаточного калия, степени увлажненности, видового состава растений. В настоящее время выявлено заглубление ^{137}Cs по профилю почв. Скорость вертикальной миграции в различных типах почв отличается, подвижность ^{137}Cs прямо пропорциональна концентрации органического вещества, зависит от наличия пластов, обогащенных оксидом железа.

Низкая удельная активность ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов является основой радиационной безопасности продукции растениеводства и животноводства, произведенной на этой территории. Миграция ^{137}Cs из почвы в

вегетативную часть растения зависит от химического состава почвы, ее физико-механических характеристик. Успешность миграции радионуклидов описывается коэффициентом накопления ($К_н$), или коэффициентом пропорциональности (КП).

Н.А. Кимаковская в своих работах подтвердила, что поступление ^{137}Cs в урожай сельскохозяйственных культур зависит от типа почв, а не от расположения участка почвы от источника загрязнения. Автором получены обширные данные по коэффициенту пропорциональности для основных типов почв и кормовых культур, выращиваемых на Украине. В результате установлено, что наименьшее накопление ^{137}Cs в травостое лугов отмечено на суходольных лугах с минеральными почвами, наибольшее – на болотистых и пойменных лугах с органогенными почвами. ^{137}Cs активно переходил в урожай сельскохозяйственных культур на торфяно-гелевых почвах, менее активно миграция была отмечена на черноземе оподзолённом и на дерново-подзолистых почвах. [94].

Работы по определению коэффициента пропорциональности ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур на разных типах почв на территории Украины, выполненные Н.А Кимаковской и Г.П. Перепелятниковым, показали, что накопление ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур, выращенных на торфяно-глеевых почвах, в 3,5-40 раз выше, чем у культур, выращенных на черноземе оподзоленном, в 1,4-13 раз выше, чем у культур, выращенных на дерново-подзолистых почвах. Установлено, что для естественных лугов разных типов различие в поступлении ^{137}Cs в сено было большим, чем при полевом севообороте. КП ^{137}Cs для разнотравно-злакового сена зависит от типа почвы, КП для чернозема оподзоленного – 0,12, дерново-подзолистой песчаной – 0,66, глееватой и дерново-песчаной – 1,8. КП ^{137}Cs для разнотравно-осокового растительного покрова, выращенного на торфяно-глеевой почве, максимальный – 12,2-90,9, он увеличивается с увеличением концентрации воды [94].

Обратную зависимость между удалением источника техногенных радионуклидов и Кн растениями установила Н.В. Ларионова в работе,

посвященной оценке Кн радионуклидов в зоне радиоактивных выпадений на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Автор утверждает, что Кн растениями ^{137}Cs увеличивается по мере удаления по «следу» от эпицентра проведения ядерного испытания. Минимальные значения Кн ^{137}Cs зарегистрированы в эпицентре, максимальные – на расстоянии более 100 км по «следу» от него [121].

В работах Ю.Н. Ашинова и Ф.Ю. Схашок проведено сравнение коэффициентов поглощения ^{137}Cs озимой пшеницей, выращиваемой на разных типах пахотных почв Республики Адыгея. Выявлено, что коэффициент накопления ^{137}Cs в зерне и соломе озимой пшеницы имеет одинаковые значения для чернозема выщелоченного и лугово-черноземных почв. Коэффициент поглощения составляет для соломы озимой пшеницы 0,33±0,21, для зерна озимой пшеницы – 0,13±0,09 [21].

Ю.И. Москалевым показано, что в растениях с мочковатой корневой системой удельная активность ^{137}Cs в 2-3 раза выше, чем в растениях с стержневым типом, эти данные сочетаются с результатами, миграционной активности ^{90}Sr [136]. Миграционная активность этих радионуклидов при оседании из атмосферы на поверхность листьев примерно одинаковая. Однако миграционная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения через почвенных раствор на одном типе почв будет значительно отличается, благодаря различному их поведению в почве.

В работе А.М. Окунева и Л.И. Мезлякова отражена особенность накопления ^{137}Cs в кормовых культурах на разных типах почв Тюменской области. Главным источником техногенного загрязнения почв Тюменской области является радиоактивный след Кыштымской аварии. В результате установлено, что активность ^{137}Cs в черноземе и торфяных почвах принадлежит к одному диапазону совокупности. Отмечено, что коэффициент накопления (Кн) ^{137}Cs кормовыми растениями (трава злаково-разнотравная, зеленая масса овса и гороха, зерно овса, зеленая масса кукурузы, свекла) выше на торфяной почве [147].

Работа Н.В. Ларионовой и ее соавторов показала, что на почвах пастбищных участков, территориально принадлежащих бывшему Семипалатинскому полигону, растения, произрастающие на одинаковых почвах (суглинок), обладают разным Кн для ^{137}Cs. Согласно данным, Кн ^{137}Cs для полыни в 2-3 раза выше, чем для ковыля и типчака [120].

Для почв Белгородской области С.В. Лукиным и Р.М. Хижняком рассчитаны коэффициенты накопления ^{137}Cs, которые составили для озимой пшеницы и ячменя 0,02-1,1. Установлено, что на чернозёмах транслокация радионуклидов в растения выражена слабее, чем на легких дерново-подзолистых почвах [123].

Исследования по оценке перехода радионуклидов из почвы в вегетативную часть растений в условиях республики Беларусь, на территории Могилевской области, были проведены А.В. Шур и В.П. Валько. Установлено, что Кн в одном виде растений прямо пропорционален плотности загрязнения, наименьшим Кн ^{137}Cs обладает лапчатка серебристая – 0,12, максимальный Кн у вереска обыкновенного – 5,3. Для травостоя пастбищ при плотности загрязнения 74-185 кБк/м^2 Кн следующий: иван-чай узколистный – 3,6; овсяница красная – 4,5; клевер горный – 4,7 [222].

В период с 2008 по 2020 г. С.В. Фесенко с соавторами на территории, пострадавшей в результате ЧАЭС, провели оценку коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в корма и установили, что экологические периоды полуснижения коэффициентов перехода в этот период составили 7,8-28,9 лет [210].

И.А. Егоровой выполнено определение значений удельной активности ^{137}Cs в растениях естественных лугов на территории Северо-Западного Алтая. Автор отмечает, что диапазон значений удельной активности ^{137}Cs в зеленых сочных кормах лугов составляет 4-32 Бк/кг, максимальная удельная активность^{137}Cs – 32 Бк/кг, характерна для пырея ползучего на черноземе обыкновенном. Содержание ^{137}Cs в зеленой массе сенокосных угодий, выращенных на различных типах почв, неодинакова: горно-луговая почва – 12 Бк/кг, горно-лугово-степная – 9, аллювиальная – 8 Бк/кг. Коэффициент

накопления ^{137}Cs растениями изменяется в диапазоне $n\times10^{-3}$ – $n\times10^{-1}$ [76].

Данные по накоплению ^{137}Cs в растениях луговых экосистем радиационно-загрязненных районов Российской Федерации, республик Белоруссии и Украины приведены в работе А.Д. Булохова. Автором рассчитан Кн ^{137}Cs для луговых растений, установлена тенденция уменьшения значения Кн по мере увеличения степени загрязнения почвы, которую он связывает с тем, что при насыщении растения К и Cs интенсивность поступления данных элементов снижается, в связи с чем Кн в растениях на высоко-загрязненных почвах ниже, чем на слабозагрязненных. А.Д. Булоховым установлено, что пойменные почвы лугов по сравнению с дерново-подзолистыми и подзолистыми песчаными лесными почвами обладают более благоприятными физико-химическими и агрохимическими свойствами, менее кислой реакцией среды, высоким содержанием гумуса и тонкодисперсных глинистых частиц. Вследствие этого коэффициент накопления ^{137}Cs луговыми растениями ниже, чем лесными [40].

В РФ удельная активность основных дозообразующих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах контролируется нормативным документом [111]. В настоящее время специалистами в области радиоэкология ведется дискуссия о значениях контрольных уровней (КУ) ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах, существуют работы по оптимизации значений КУ. С.В. Фесенко с соавторами предложен метод оценки КУ в кормах мясного и молочного скота, базирующийся на учете стохастического характера значений миграции ^{137}Cs в корма и продукцию животноводства. Авторы рекомендуют выделить КУ для мясного и молочного скота, применение предложенных КУ позволит оптимизировать технологию ведения животноводства на территориях РФ, имеющих дополнительное радиоактивное загрязнение [207].

В результате обобщения данных по миграции ^{137}Cs в вегетативную часть растений можно сделать вывод, что миграция ^{137}Cs зависит от типа почвы, ее увлажненности и особенности трофики растений. На естественных лугах концентрация ^{137}Cs выше, чем на искусственных. Это объясняется тем, что при вспашке градиент концентрации ^{137}Cs выравнивается на глубину пахотного слоя,

тогда как на естественных сенокосах ^{137}Cs удерживается слоем дерна. Наименьшее накопление ^{137}Cs отмечается в травостое на суходольных лугах с минеральными почвами. Средняя миграционная активность ^{137}Cs установлена на черноземах оподзолённых, дерново-подзолистых почвах. Наибольшая концентрация ^{137}Cs в вегетативных частях растений регистрируется на болотистых и пойменных лугах с органогенными почвами и на торфяно-гелевых почвах.

Миграция в звене корма – с.-х. животные – продукция животноводства. Оценка удельной активности кормов является неотъемлемым этапом мониторинга радиационной безопасности. Радиоэкологический мониторинг в республике Татарстан, выполненный Н.В. Акмуллиной в период 2007–2011 гг., показывает, что удельное содержание ^{137}Cs в объектах ветнадзора (свекла кормовая, картофель, силос, сенаж, трава, солома, сено, зернофураж, молоко, говядина) изменялось в 2-4 раза, но не достигало критического уровня. Максимальные значения удельной активности ^{137}Cs зарегистрированы в соломе – 0,66 Бк/кг, минимальные в свекле кормовой – 0,25 Бк/кг. При этом наличие ^{137}Cs в продукции животноводства составляло: молоко – 0,12 Бк/кг, мясо (говядина) –2,58 Бк/кг [4].

По данным А.Д. Булохова в Брянской области РФ присутствуют агробиоценозы, на которых плотность загрязнения почвы ^{137}Cs составляет более 74 кБк/м^2 (2 Ku/км^2), удельная активность ^{137}Cs в сене, заготавливаемом в этих условиях, превышает контрольный уровень содержания радионуклида в сене для РФ – 600 Бк/кг. В республике Беларусь допустимый уровень содержания ^{137}Cs в сене составляет 1300 Бк/кг; сено, заготавливаемое на пойменных лугах Гомельской области, отвечает требованиям РДУ-2003 [40].

С.В. Фесенко с соавторами установили, что в агробиоценозах юго-запада Брянской области плотность загрязнения почвы ^{137}Cs находится в широком диапазоне 47-745 кБК/м^2, авторы выделяют три периода полуснижения ^{137}Cs в продукции растениеводства: с 1987 по 1993 г. – 0,58-1,4 года, с 1994 по 2006г – 4,4-34,7 лет и с 2007 по 2021 – от 8,9-50 лет и более [208].

В агробиоценозах территории ВУРС в 2005-2007 гг. по данным Кадочникова М.Ю. концентрация ^{137}Cs в концентрированных кормах составляла 0,53-1,44 Бк/кг, в силосе 0,36-0,66 Бк/кг, в грубых кормах 1,8-2,2 Бк/кг. Удельная активность ^{90}Sr в концентрированных кормах составляла 1,5-2,6 Бк/кг, в силосе – 1,1-5,5 Бк/кг, в сене – 2,9-11,1 Бк/кг [91]. А.С. Кривоногова установила в 2012-2017 гг, что в агробиоценозах на территории ВУРС в готовой кормовой смеси концентрация ^{137}Cs составляла 3,25±0,10 Бк/кг, ^{90}Sr – 3,83±0,09 Бк/кг [107].

Поступление ^{137}Cs в организм животных, птиц происходит через алиментарным, аэрогенным путем и через поврежденные и неповрежденные кожные покровы. Главным путем поступления является алиментарный, поступление радионуклида аэрогенным путем имеет намного меньшее значение. В настоящее время достаточно данных, оценивающих метаболизм техногенных радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных, определены коэффициенты всасывания всех дозообразующих техногенных радионуклидов: ^{3}H, ^{22}Na, ^{60}Co, ^{65}Zn, $^{89/90}Sr$, ^{95}Zr, ^{106}Ru, ^{131}I, ^{137}Cs, ^{140}Ba, ^{144}Ce, ^{210}Pb, ^{238}U в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) продуктивных животных. Н.Н. Исамовым с соавторами построены статистические модели, описывающие всасывание радионуклидов в ЖКТ сельскохозяйственных животных в зависимости от возраста, проведено ранжирование радионуклидов на основе коэффициентов всасывания для сельскохозяйственных животных, в результате установлена следующая последовательность: ^{144}Ce, ^{91}Y < ^{106}Ru < ^{60}Co < ^{90}Sr, ^{65}Zn, ^{45}Ca < ^{137}Cs < ^{131}I. Подтверждено влияние модифицирующих факторов: состав рациона животных (наличие аналоговых макро- и микроэлементов), физико-химические свойства радионуклидов, возраст животного [90].

Усвоение ^{137}Cs происходит в тонком кишечнике, степень всасывания приближается к 100 % в связи с тем, что он в биосфере находится в водорастворимой форме. Однако по некоторым данным коэффициент всасывания ^{137}Cs составляет 50% [90] Высокий коэффициент перехода ^{137}Cs во внутреннюю среду организма животных с однокамерным желудком, молодняка и беременных [241, 242]. В организме ^{137}Cs распределяется равномерно, по его

концентрации органы и ткани располагаются в следующем порядке: мышечная ткань > почки > костная ткань > яичники. Кратность накопления и интенсивность выведения радионуклида из организма имеют прямую корреляцию с массой животного. Кинетика накопления – выведения ^{137}Cs у животных зависит от возраста, чем меньше возраст животных, тем выше концентрация изотопа в мышечной ткани.

Эффективный период полувыведения ($T_{эфф}$) ^{137}Cs у дойных коров составляет от 20-50 дней, продолжительность $T_{эфф}$ определяется молочной продуктивностью и составом рациона. Концентрация ^{137}Cs в молоке коровьем при однократном алиментарном поступлении медленно увеличивается в первые 24 ч, максимальные значения фиксируется на 48 ч, затем в течении 144 ч. концентрация снижается [226]. При хроническом алиментарном поступлении ^{137}Cs выделение зависит от продуктивности животных и составляет 0,25-13 % от суточного поступления на 1 л молока. Процентное содержание в рационе грубых кормов, определяет концентрацию ^{137}Cs в молоке (выявлена обратная зависимость содержания грубых кормов в рационе и удельной активности ^{137}Cs в молоке в расчете на 1 л молока). Фесенко С. В. с соавторами изучили закономерности изменения концентрации ^{137}Cs в молоке коровьем с территории, загрязненной при аварии на ЧАЭС, в результате работы выделены факторы, определяющие Кп: плотность загрязнения; свойства почвы; проведение защитных и реабилитационных мероприятий. Авторами подтверждено, что способ содержания молочных коров определяет интенсивность уменьшения удельной активности ^{137}Cs в молоке. Авторы пришли к заключению, что в настоящее время на загрязненной территории происходит постепенное снижение миграционной активности ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию [208].

Коэффициент перехода ^{137}Cs из рациона в 1 литр молока составляет 1 %, в 1 кг мышечной ткани составляет 8 % от суточного поступления, однако существуют данные, в которых значения Кп ^{137}Cs из рациона в молоко – 0,4% в мясо – 1,3% [147], по результатам ученых республики Беларусь Кп изотопа составляет 10% [94].

Значительная доля ^{137}Cs, поступающего с рационом, переходит в мышечную ткань, мясо животных является основным источником ^{137}Cs для человека. При формировании равновесного поступления ^{137}Cs с рационом в организм крупного рогатого скота в 1 кг мышечной ткани переходит 4-8 % от суточной активности рациона. Динамика значений миграционной активности ^{137}Cs из рациона в мышечную ткань крупного рогатого скота снижается с увеличением возраста животных. После формирования динамического равновесия между содержанием техногенных радионуклидов в рационе и их содержанием в молоке и мясе; удельная активность мяса (Бк/кг) аналогична объемной активности молока (Бк/л) [271]. Существует соотношение, дающее возможность рассчитать удельную активность говядины на любой момент времени. Удельная активность ^{137}Cs в мясе зависит от вида животных, высокое содержание регистрируется в баранине; говядине в 2 раза, в свинине в 3 раза меньше, чем в баранине. Оленина отличается максимальной концентрацией изотопов (в 10 раз выше) в сопоставлении удельной активностью в других видах мяса. Уровень ^{137}Cs в организме животных зависит от кормовой базы; при использовании культурных угодий для заготовки кормов и летнего кормления содержание изотопа в мясе и молоке будет ниже, чем при использовании естественных угодий. Значения существующих радиационно-гигиенических нормативов удельной активности техногенных радионуклидов в продукции животноводства определены предельно допустимыми значениями, поступления радионуклидов в пищевой рацион людей. Именно этим определяется допустимая суточная активность рациона сельскохозяйственных животных. В настоящее время существующие нормы удельной активности кормов требуют пересмотра и уменьшения допустимой концентрации изотопов, существуют работы, раскрывающие эту проблему [229].

Накапливаясь и распределяясь в тканях ^{137}Cs, формирует токсический эффект, степень его проявления имеет дозовую, кратностную и временную зависимости [34, 79, 180, 185]. У овец при поступлении 0,2 мКu/день ^{137}Cs в течение 10 дней отмечалась кратковременная слабая лейко-лимфопения и

гемоглобинемия. У крупного рогатого скота поступление 0,07 мКu/день ^{137}Cs в течении 30 дней вызывало формирование радиационных синдромов.

Обобщение вышеприведенных данных позволяет заключить, что ^{137}Cs относится к среднетоксичным радионуклидам, основной путь поступления – алиментарный, в организме распределяется равномерно. Усвоение ^{137}Cs происходит в тонком кишечнике, степень всасывания достигает 100 % и зависит от возраста животных и типа пищеварительной системы. Критическим органом для цезия является мышечная ткань. Основными факторами, определяющими удельную активность ^{137}Cs в продукции животноводства, являются: плотность загрязнения и свойства почвы; способ содержания животных; состав рациона. В настоящее время существует достаточное количество научных работ по применению различных средств для снижения сорбции ^{137}Cs в желудочно-кишечном тракте животных, доказана эффективность использования ферроцинсодержащих препаратов [65, 65, 90, 132].

Обобщая сказанное следует вывод – вопрос миграционной способности ^{137}Cs в агробиоценозах центральной части РФ и сопредельных государств изучен достаточно. Исследования в основном выполнялись на территориях, подверженных выпадению техногенных радионуклидов вследствие аварийных ситуаций на предприятиях атомно-промышленного комплекса. Научных работ по изучению удельной активности, оценке миграционной способности техногенных радионуклидов в почве, растительности и продукции животноводства агробиоценозов Красноярского края опубликовано мало, и в отечественной научной литературе не раскрыта тема миграции ^{137}Cs в агробиоценозах. В регионе внимание ученых привлекало загрязнение русла реки Енисей, на эту тему выполнено достаточно работ: оценены удельные активности основных техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях и водных объектах (водорослях и разных видов рыб) на всем протяжении р. Енисей: от точки сброса ФГУП ГХК до устья реки; исследованы закономерности распределения, миграции техногенных радионуклидов в компонентах

экосистемы; сформулированы модели переноса техногенных радионуклидов между компонентами экосистемы р. Енисей [62, 83, 151, 173, 193].

В связи с этим оценка особенностей миграционной способности техногенных радионуклидов по цепи «почва – корма – продукция животноводства», определение роли агробиоценозов, как звена аграрного ландшафта в производстве радиационно-безопасной агропродукции в условиях локального антропогенного загрязнения территорий Красноярского края являются актуальными вопросами агроэкологии.

1.3 Влияние малых поглощенных доз радиации на гомеостаз организма животных

Проблема влияния малых доз ионизирующего излучения на биологические объекты в настоящее время привлекает внимание радиобиологов [277]. Оценке воздействия малых доз радиации посвящено множество научных работ. А.М. Кузиным в 1977г издана монография «Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы». В 1980 г Т.Д. Люкки вводит термин «радиационный гормезис», суть радиационного гормезиса заключается в потенцировании организма малыми дозами радиации и появление положительного эффекта в тканях и органах организма.

С 1940 существует линейная беспороговая модель (LNT) влияния ионизирующего излучения на организм, согласно теории не существует нижнего порога значения дозы, который определяет возникновение стохастических эффектов. Теория предполагает линейную зависимость между дозой и стохастическим риском для здоровья, ионизирующее излучение потенциально может причинить вред при любом значении дозы, сумма доз облучений с одинаковой вероятностью вызовет стохастический эффект в организме, как и однократное воздействие в дозе равной сумме малых доз.

К. Басби в 1995 г. в книге «Крылья смерти: ядерное загрязнение и загрязнение окружающей среды» предлагает теорию «второго события».

Согласно которой линейная беспороговая теория преуменьшает риск малых доз. Воздействии ионизирующего излучения в значениях, превышающих естественный радиационный фон, вызывает больше случаев рака, чем облучение в клинических дозах, то есть существует двухфазная (бимодальная) кривая, утверждение было основано российским биологом Е.Б. Бурлаковой. Согласно теории «второго события» изотопы в организме при распаде формируют более сильный генотоксический эффект, чем прогнозирует модель LNT.

А.В. Яблоков в 2002г издает брошюру «Миф о безопасности малых доз радиации», в которой приводит большой фактический материал, свидетельствующий о негативном влиянии малых доз на состояние тканей, органов и систем организма. По мнению автора любое дополнительное к значению природного фона антропогенное излучение является опасным и оказывает негативное действие на организм и потомство. Автор в тесте приводит примеры влияния малых доз радиации на организм человека с дозы 1 мГр, причем величина аппроксимирующей минимальной дозы по мнению автора составляет 0,05 мГр. Достаточно много работ по оценке влияния малых доз радиации на генетический аппарат клетки растений, животных и человека; к основным негативным изменениям относят увеличение числа хромосомных аберраций, изменение ДНК клетки. Малые дозы влияют на течение беременности и уменьшают плодовитость животных, увеличивают эмбриональную смертность и уродства плода [225].

Особенности биологического влияния низких доз радиации на организм животных и человека оценены в работах института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН. Установлено, что малые дозы ионизирующего излучения влияют на метаболизм организма, в определенных интервалах доз низкоинтенсивное облучение более эффективно, чем острое. Зависимость эффекта от дозы может иметь нелинейный, немонотонный, полимодальный характер. Установлено, что дозы, при которых наблюдаются экстремумы, определяются мощностью облучения и уменьшаются при ее снижении, воздействие малых доз потенцирует изменение (чаще всего увеличение)

чувствительности клеток и тканей к действию повреждающих факторов [37]. Конюхов Г.В. с соавторами в монографии механизм благоприятного влияния малых доз радиации связывали с ускорением генерации клеток, в результате поврежденные клетки тканей заменялись новыми клетками [100].

Исследования ученых показали, что воздействия радиации в малых дозах вызывают структурные изменения в клетках, что изменяет их функциональную активность. При дозе 10 мГр в организме белых мышей были выявлено изменение биохимических процессов, при дозе 1 мГр регистрировали уменьшение на 30% активности фермента тимидкиназы. При дозе 16 мГр регистрировалось изменение липидного обмена, что увеличивало количество продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Существует теория радиационного гормезиса, суть которой заключается в стимуляции организма воздействием малых доз радиации и возникновении благоприятного эффекта. Радиационному гормезису посвящено множество работ [49, 214, 234, 239, 285].

Первые экспериментальные работы по определению благоприятного действия на организм млекопитающих проведены в 1948 г Ивенсом К. установлено, что облучение мышей-самцов в дозе 0,3 мГр/день увеличивало их продолжительность жизни. В 1960 г Гоуэн Д. установил увеличение продолжительности жизни мышей при однократном внешнем их облучении в дозах 740-1500 мГр. Федоров А.В. выяснил, что облучение крыс дозой 2000 мГр/год приводит к увеличению массы и плодовитости в 2 раза. В 1983 году Киршин В.А., Григорьев И.Г., Пастухов А.М. выявили, что при гамма-облучении суточных поросят крупной белой породы дозами 100-250 Гр увеличивалась абсолютная масса на 10-12% в течение первых 3 месяцев жизни, к 6 месяцам превышение составляло 6-8% по отношению к контрольной группе [119].

В 2005 году Булдаков Л.А. установил, что внешнее облучение в малых дозах увеличивало продолжительность жизни: у кроликов на 18% при дозе 22 мГр/сут., у крыс на 20% при дозе 8 мГр/сут [35].

В 2018 г на научной конференции Ишмухаметов К.Т., Курбангалеев Я.М., Шакуров М.М. представили результаты экспериментов на тему: «Использование малых доз ионизирующей радиации для улучшения хозяйственно-полезных качеств молодняка овец». Опыты проводились на 3-х группах баранчиков. Исследованиями установлено, что облучение ягнят в дозе 0,4 Гр приводит к значительному повышению интенсивности роста. Живая масса баранчиков опытных групп за период исследований (до 9-месячного возраста): в 1 группе на 6,0-9,7 %, во 2й – на 5,8-9,8 %, в 3й – на 11,1-11,8% выше, чем в контроле [113]

Devic C. с соавторами оценили влияние индивидуальной радиочувствительности на явление адаптивной реакции [234]. Чукова Ю.П. в работе приводит историческую справку развития теории радиационного гормезиса и оценивает эффекты, возникающие в клетках при воздействии малых доз радиации. По мнению автора U- образный ответ системы не является особенностью радиационного воздействия. Такое поведение системы определяется возникновением свободной энергии в клетке, под воздействием поглощенной дозы формируется некий эффект, при увеличении дозы радиации генерация энтропии увеличивается, при этом снижается эффект. Процесс увеличения свободной энергии является изотермическим эндоэргическим процессом, в результате увеличивается температура в системе, что потенцирует зарождение теплового процесса. В результате в клетке происходит переход изотермического эндоэргического процесса в тепловой. Таким образом ветви U-образного ответа клетки на воздействие определяются окончанием эндоэргического процесса (ниспадающая ветвь) и зарождение тепловых процессов (восходящая ветвь) [214].

Jargin SV. эффект гормезиса объяснял эволюционной адаптацией к существующему на данный момент значению дозы ионизирующего излучения, как к некоторому среднему значению из прошлого. Значение дозы естественной радиации за время существования жизни на Земле снижается. Процессы повреждения и репарации ДНК в клетках существуют в динамическом балансе. Процесс восстановления ДНК предполагает, что клетки организма обладают

резервными возможностями репарации от более высоких уровней радиации, чем значение дозы, действующей в настоящее время. Согласно этой концепции, повреждение клеток организма при действии малых доз радиации будет стремиться к нулю при значении доз, стремящихся к широкому диапазону уровня естественного радиационного фона [250]. Shibamoto Y. с соавторами в обзоре биологических, эпидемиологических и клинических данных о радиационном гормезисе приходят к заключению, что в связи с увеличением количества исследований по оценке малых доз радиации на организм скоро будет сформировано заключение о пагубности или пользе малых дозы ионизирующего излучения, о жизнеспособности без пороговой линейной теории (LNT). Биологические исследования в настоящее время предполагают индукцию биоположительных реакций организма (стимуляция иммунитета, увеличение антиоксидантов в тканях) при действии малых доз ионизирующего излучения на организм [277]. В оценке малых уровней ионизирующих излучений необходимы экспериментальные исследования и развитие теоретических представлений о механизмах их действия на все уровни организации организма.

1.3.1 Влияние малых доз ионизирующего излучения на гематологические, биохимические и иммунологические показатели крови

Существует много работ по оценке степени влияния радиации на состояние организма, гематологические и биохимические показатели крови сельскохозяйственных и диких животных, находящихся на территории, загрязненной техногенными радионуклидами. Ионизирующее излучение даже в малых дозах активно действует на гемопоэтическую ткань, изменяет биохимические показатели крови животных [109]. По данным Верещак Н.А. в 1992-2006 гг в агробиоценозах на территории ВУРС у телят 30 дн. возраста установлено снижение количества Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов, у телят 6 мес. возраста снижение фагоцитарной активности, количества лейкоцитов и лимфоцитов. У коров регистрировалось увеличение содержание эозинофилов и снижение лимфоцитов [43]

Кривоногова А.С. в 2012-2017 гг в агробиоценозах на территории ВУРС в крови коров выявила тенденции к увеличению щелочной фосфатазы и фосфора, глутамат-перксидазы [107].

Е.А. Михеева провела оценку влияния загрязнения почв ^{137}Cs на изменение показателей крови молодняка крупного рогатого скота в агробиоценозах Орловской области. В работе установлено, что при удельной активности ^{137}Cs в почвах 5 кБк/км^2 и более в периферической крови уменьшается количество гемоглобина, увеличивается количество нейтрофилов и базофилов при одновременном уменьшении содержания эозинофилов и моноцитов, автором выявлен сдвиг лейкоцитарного профиля влево. Установлено, что малые дозы увеличивают фагоцитарный индекс нейтрофилов венозной крови телок [134]. С.А. Костенко с соавторами определили, что у молочных коров при экспозиционной дозе 24-96 мкР/час в периферической крови достоверно увеличивается количество β-лимфоцитов [103]. Т.С. Плотко с соавторами в работе, выполненной в хозяйствах Киевской области (Украина) установили, что при активности суточного рациона 3,45 кБк в крови крупного рогатого скота не изменялось количество лейкоцитов, однако в лейкоцитарном профиле крови наблюдались изменения: увеличивалось относительное содержание базофилов и юных нейтрофилов снижалось присутствие палочкоядерных нейтрофилов и эозинофилов. Авторами выявлено снижение фагоцитарного индекса нейтрофилов и элиминирующей способности крови кров [164].

Имеется достаточно исследований по оценке влияния радиации на состояние организма, гематологические и биохимические показатели диких животных, находящихся в районах, загрязненной техногенными радионуклидами. А.Г. Кудяшевой Е.А. определена изменчивость и гетерогенность значений антиоксидантного статуса в печени различных видов грызунов, находящихся на территориях 30-км зоны отчуждения ЧАЭС. В работе установлено, что у мышей зарегистрирован более стабильный состав фосфолипидов печени. Рост гетерогенности ответных реакций и высокая вариабельность показателей являются особенностью влияния малых доз

радиации, это приводит к увеличению степени адаптации организмов [115]. Д.Н. Федотовым определена характеристика морфологических механизмов адаптаций эндокринных желез у енотовидной собаки, речной выдры, ежа белогрудого, обитающих на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, определены изменения в щитовидной железе, надпочечниках. Установленные изменения автор относит к адаптационным механизмам сохранения гомеостаза при действии малых доз радиации [205].

Оценить влияние малых доз радиации на степень изменения гематологических и биохимических показателей у животных, находящихся на загрязненной территории, довольно сложно. Затруднительно оценить значение поглощенных доз, воздействовавших на организм, так как авторы апеллируют плотностью загрязнения техногенных радионуклидов или их удельной активностью в компонентах агробиоценозов. [20, 51, 150]. Подобные работы не оценивают значение поглощенной дозы, что усложняет интерпретацию результатов исследования и выявления зависимости «доза-эффект» в диапазоне малых доз.

Существуют работы по оценке влияния ионизирующего излучения на показатели крови при различных сценариях облучения [227]. Много работ по исследованию степени радиационного воздействия в малых дозах на систему крови лабораторных животных (мыши, крысы). Л.Н. Шишкиной с соавторами в работе на мышах, подвергнутых гамма-облучению в дозе 15 сГр и рентгеновскому облучению в дозе 16 сГр и менее 1,5 мГр с убывающей во времени мощностью дозы, установлена обратная зависимость между данными перекисного окисления липидов и поглощенной дозой. Установлена различная восприимчивость и возможность к восстановлению значений физико-химической системы нормализации перекисного окисления липидов после воздействия повреждающих факторов [218]. В.В. Петряков установил, что при внешнем облучении лабораторных крыс в дозе 9,5 Гр в сыворотке крови снижается уровень общего белка [162]. М.Ю. Алесина с соавторами установили

отсутствие влияния внешнего облучения в дозе 0,07 Гр/сут на популяцию β-лимфоцитов у крыс. Воздействие на организм крыс поглощенных доз внешнего гамма-облучения 0,12 Гр/сут, 0,2Гр/сут и 0,3 Гр/сут в течении 30-130 сут. уменьшает популяцию β-лимфоцитов, снижает содержание иммуноглобулинов класса M и G и увеличивает содержание иммуноглобулина класса A в сыворотке крови [10]. В.Ю. Сафоновой в работе установлено, что внешнее непрерывное воздействие дозы гамма-излучения в диапазоне от 0,28 до 1,20 Гр в течении 4 мес. не изменяет количество эритроцитов и гемоглобина в крови белых крыс, в первые 90 дней вызывает лейкопению, с последующим восстановлением количества клеток [181]. В работе Антонишкис Ю.А. с соавторами определили, что внешнее гамма-облучение в дозе 1 Гр у белых беспородных крыс вызывает лимфопению [17].

Seed TM, Inal C, Dobson ME в работе установили снижение количества лейкоцитов и тромбоцитов в крови собак при внешнем облучении в дозе 3 мГр/сут, при дозе 3-75мГр наблюдалось стойкое снижение количества лейкоцитов [281]. Kuttler JM с соавторами в работе уставили что пороговой дозой для собак породы бигль является 700 мГр/год [258].

Значительное количество результатов по оценке влияния малых доз радиации получено на лабораторных животных. Ignacia Braga-Tanaka с соавторами установили, что у мышей в при дозе 20 мГр установлено изменение РНК некоторых генов, рост частоты новообразований печени. При дозе 400 мГр у мышей регистрировали снижение продолжительности жизни, увеличение количества новообразований, хромосомные аномалии [231]. С.Н. Мельник с соавторами установили, что при облучении крыс в дозе 1 Гр в периферической крови снижается уровень глюкозы, увеличивается активность аспартатаминотрансферазы, не изменяется активность креатинфосфокиназы, возрастает содержание фосфора в сыворотке [129]. А.И. Грицук с соавторами установили существенные изменения гомеостатических процессов в организме мышей при внешнем облучении в дозах 0,5 Гр и 1 Гр. В результате выявлено, что воздействие малых доз радиации в периферической крови мышей снижает

содержание общего белка, холестерина, уменьшает концентрацию АЛТ и АСТ, при этом не изменяет концентрацию креатинина, мочевины и триглицеридов увеличивает содержание глюкозы в первые дни после облучения [63]. Л.Е. Чуленбаева с соавторами определила, что при внешнем облучении мышей дозе 200 мГр в периферической крови уменьшалось концентрация иммуноглобулинов IgM и IgG при облучении в дозе 600 мГр снижалось содержание иммуноглобулинов: IgA, IgM, IgG [215]. О.А. Усенова с соавторами установили, что при внешнем воздействии ионизирующего излучения на организм мышей в дозе 6 Гр увеличивается в тканях с высокой пролиферативной и метаболической активностью количество продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) [201]. С.Л. Малиновская с соавторами установили увеличение продуктов ПОЛ в мышечной ткани бедра крыс при внешнем облучении в дозе 9 Гр, выявлено снижение активности антиоксидантной защиты и активация свободнорадикальных процессов в организме крыс при действии ионизирующего излучения в диапазоне малых доз [126]. Norio Takahashi с соавторами в работе на крысах, подвергнутых острому и хроническому гамма-облучению в дозе до 1 Гр, установили связь между радиационным облучением в малых дозах и нарушением кровообращения, авторами выявлен порог при дозе 0,1 Гр для формирования инсульта [265]. Б.П. Суриновым с соавторами определена иммунореактивность лабораторных мышей, подвергшихся воздействию при облучении в дозах 100 и 400 мГр и мышей, экспонированных с летучими компонентами мочи облученных особей. Установлено, при дозе 100 мГр иммуностимулирующее действие летучих компонентов необлученных мышей на особей, подвергшихся воздействию радиации [192]. А.Н. Старосельская изучила систему гемостаза у крыс при дозах 4 мГр, 8 мГр и 40 мГр, в результате было установлено, что при комбинации гамма-облучения в дозе 4 мГр и 8 мГр гипероксии и антиортостатическоом вывешивании, происходит адаптация на протяжении 3 суток. В системе гемостаза фиксировали гиперкоагуляционный синдром, что демонстрировало поражение организма крыс. Гамма-облучение в дозе 40 мГр гипероксия и антиортостатическое

вывешивание приводило к значениям нормы показатели системы гемостаза к 3-м суткам [191].

В исследованиях на лабораторных животных установлено, что воздействие ионизирующего облучения в малых дозах вызывает многочисленные структурные перестройки в клетках, сохраняющиеся длительное время после облучения и приводящие к изменению функциональной активности клеток, включая активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, глутатион пероксидазы); скорости образования анион-радикалов; состава и антиокислительной активности липидов мембран клеток [36, 38, 86].

В научной литературе имеются данные, отражающие изменения в кровеносной системе сельскохозяйственных животных после облучения. Установлено, что гематологические показатели свиней при облучении при поглощенной дозе 3,30 Гр изменялись не значительно и находились в диапазоне референтных значений, при этой дозе выявлено снижение количества лейкоцитов, в лейкоцитарном профиле увеличивалось относительное количество эозинофилов, регистрировалась лимфоцитопения и нейтрофилез в первое время (7-10мес.), в последующее время (16-19мес.) установлена нейтрофилия и относительный лимфоцитоз [100 с. 238-240].

Оценено влияние малых доз гамма-излучения на иммунологический статус организма овец. Установлено, что внешнее облучение в диапазоне 25-100 Р увеличивает уровень иммуноглобулинов класса IgM, при одновременном уменьшении содержания антител класса IgG и IgA. Ю.А. Александровым определено, что при двухкратном гамма-облучении в дозах 25 Р + 75 Р и 50 Р + 50 Р стимулируется иммунобиологическая реактивность организма овец. [5]. Ю.А. Александровым выявлено, что при поглощенной дозе 75 Р и 100 Р в периферической крови овец уменьшается количество лейкоцитов, при воздействии ионизирующего излучения в диапазоне 25-100 Р автором установлен эффект радиационного гормезиса [6]. Т.С. Шевченко в работе оценил степень влияния внешнего гамма-облучения в дозах 2 Гр и 4 Гр на клинические и гематологические показатели крови овец, в результате у животных

диагностировалась лучевая болезнь легкой и средней степени тяжести и уменьшалось число лимфоцитов: на 30% – при дозе 4 Гр, на 15% – при дозе 2 Гр [216]. В работе по оценке внешнего гамма-излучения в дозах 2,3,4 и 5 Гр на лошадей Шевченко Т.С. выявил увеличение оптической плотности нейтрофилов в период общей первичной реакции и ее снижение с последующим увеличением в латентный период, резкое уменьшение оптической плотности нейтрофилов в разгар болезни [279]. В.Г. Епимахов в работе установил, что внешнее гамма-облучение ^{60}Co молодняка овец в дозе 0,015 Гр/ч уменьшает продуктивность животных. В работе установлена прямая зависимость между облучением в дозах от 10 до 25 мГр/ч и уменьшением живой массы [79]. Н.П. Асташевой, Л.Н. Ульяненко установлено: при внешнем облучении в дозах 2,5 и 3,25 Гр у телок 14-18-месячного возраста снижается живая масса, наблюдается лимфопения, волнообразно изменяются концентрация общего белка, активность щелочной фосфатазы и альфа-амилазы в периферической крови [20].

В настоящее время достаточно работ, отражающих степень влияния ионизирующего излучения в дозах более 1 Гр, тогда как исследований по влиянию поглощенных доз менее 1 Гр на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных недостаточно. В оценке малых уровней ионизирующих излучений необходимы экспериментальные исследования и развитие теоретических представлений о механизмах их действия на все уровни организации организма.

1.3.2 Влияние малых доз ионизирующего излучения на генерацию АФК

Воздействие ионизирующего излучения в клетках тканей организма вызывает стресс прямо или косвенно, путем генерации активных форм кислорода (АФК), образуются повреждения ДНК субклеточных органелл и потенцируется процесс аутофагии.

При облучении в результате радиолиза воды в межклеточном пространстве генерируются АФК: супероксид-анион (O_2^-), гидроксильные радикалы (OH^-) и

перекись водорода (H_2O_2), эти соединения относят к высоко реактивным. Облучение стимулирует образование эндогенных АФК в митохондриях клеток [238], изменяет проницаемость митохондриальных мембран, возбуждает дополнительную генерацию АФК [257, 260]. Значительное количество АФК повреждает компоненты цепи переноса электронов в митохондриях, приводит к дисбалансу внутриклеточной окислительно-восстановительной системы [253] в результате провоцируется окислительный стресс, реагируя с молекулами клеток: белки, липиды, белки и ДНК, это обуславливает перекисное окисление липидов [257]. В тоже время, эндогенные антиоксидантные системы уменьшают количество продуктов, образующихся в результате радиационно-стимулированного окислительного стресса, они утилизируют свободные радикалы, посредством супероксиддисмутаз (СОД) высоко активные радикалы O_2^- преобразуются в H_2O_2, с помощью каталазы и пероксидазы H_2O_2 превращаются в H_2O и O_2 [245].

Установлено, что процессы генерации АФК иммунокомпетентными клетками организма являются чувствительными к воздействию даже низкой концентрации радионуклидов и слабых доз ионизирующего излучения [42, 165, 166, 227, 247 266]. Large M. с соавторами установили, что облучение в малых дозах (30-300мГр) приводило к нелинейной экспрессии и активности основных соединений антиоксидантной системы [259].

Eckert D с соавторами установили, что гамма-облучение «in vitro» в дозах 100-500мГр индуцирует экспрессию антиоксидантных ферментов что уменьшает содержание АФК в эндотелиальных клетках [237]. М.С. Абрамовой с соавторами установлено, что уровень АФК в культуре фибробластов облученных «in vitro» в дозах 30 мГр, 100 мГр, 500 мГр и 1000 мГр возрастал пропорционально поглощенной дозе [1]. Японскими исследователями в работе по оценке ионизирующего воздействия на иммунную систему свиней в следствии аварии на АЭС Фукусима выявлено увеличение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани животных и повышения уровня АФК [263].

Корейскими учеными установлено, что ионизирующее излучение в дозе менее 500 мГр в культуре лейкоцитов увеличивает количество АФК, в периферической крови модельных животных снижает количество лейкоцитов и тромбоцитов, в периферических органах и мозге вызывает окислительный стресс, подавляет иммунную систему [278].

Впервые использование хемилюминесцентного метода для оценки физиологического состояния животных применил Я.И. Серкиз [183]. Однако он исследовал ЛХ-реакцию в крови животных при острой лучевой болезни, т.е. значительных дозах ионизирующего излучения. Существуют работы по оценке ХЛ-реакции крови лабораторных мышей при воздействии рентгеновского излучения в дозе 0,1 Гр, в работе установлено увеличение вторичных радикалов через 0,5ч после облучения [75].

1.3.3 Радиобиологические эффекты при воздействии ионизирующего излучения «in vitro»

В научной литературе существует ограниченное количество работ, посвященных оценке радиологических эффектов при воздействии ионизирующего излучения «in vitro». Shimura N., Kojima S приводят данные о чувствительности клеток крови человека при внешнем гамма-облучении «in vitro» в дозах более 1 мГр, по их мнению поглощенная доза в 100-500 мГр является наименьшей для изменений уровней биомаркеров [280]. В работе Е.В. Грабовский с соавторами провели исследования по оценке индукции апоптоза лимфоцитов в периферической крови человека при сверхинтенсивном гамма-излучении «in vitro»; в результате установили, что воздействие гама-излучения сверхвысокой мощности в дозе 1-6 Гр приводит к апоптозу лимфоцитов [61]. М.Н. Стародубцева с соавторами при облучении «in vitro» рентгеновским излучением в дозах 500-200 000 мГр цельной крови крыс оценили корреляцию между параметрами редокс-состояния плазмы крови и структурными свойствами поверхности эритроцитов. При дозах 500-1000 мГр в основном определяются механизмы редокс-регуляции, в интервале доз 100 000-200000

мГр присутствуют процессы стимуляции окислительных процессов. Авторами предложено редокс-состояния плазмы, АСМ-параметры поверхности эритроцитов применять как биоиндекатор радиационно-индуцированных изменений крови при воздействии радиации [189].

Очевидно, процессы образования и утилизации АФК иммунокомпетентными клетками, непосредственно связанные с активностью про- и антиоксидантных ферментов и играющие важную роль в обеспечении неспецифической резистентности организма, также претерпевают изменения. Следствием таких изменений может быть снижение защитных свойств организма или развитие аутоиммунных воспалительных процессов [44, 81, 287]. Кинетика процесса генерации АФК клетками в ответ на антигенное внедрение «in vitro», регистрируемая хемилюминесцентным методом в не фракционированной крови, отражает не только активность функционирования каскадно включающихся про- и антиоксидантных ферментов клеточных мембран фагоцитирующих клеток, но и всей совокупности про- и антиоксидантных факторов периферической крови [44, 81].

Yang G., в работе оценил влияние различных доз рентгеновского излучения: 20, 50, 75, 100, 200, 1000 и 3000 мГр на пролиферацию клеток, в результате было установлено, что при воздействии высоких доз радиации усиливалась экспрессия антиоксидантов, что уменьшало повреждение клеток избыточным количеством АФК [290]. В.С. Улащик в работе приводила характеристику АФК, антиоксидантной системы и их роли в клетках и тканях организма [200]. Протас А.Ф. вывил, что внешнее гамма-облучение крыс в дозах 100 – 1000 мГр вызывает изменения активности супероксиддисмутазы, катализы и глутатионпероксидазы ядер клеток нейронов коры головного мозга. Максимальная активность супероксиддисмутазы наблюдалась в первые двое суток после облучения, в течении первых 5 суток снижалась активность глутатионредуктазы. В работе установлено, что в модельных исследованиях в присутствии высоких концентраций АФК снижается активность ферментов [165]. Е.В. Агаева с соавторами оценили продукцию макрофагами АФК и

цитокинов при внешнем гамма-облучении «in vitro» в дозах 50-500мГр и 1000-10000мГр косно-мозговых клеток. Установлено, что при воздействии гамма-излучения происходит ингибирование продукции АФК, в мезинхимальных косно-мозговых клетках при дозе 50-100 мГр регистрировался стимулирующий эффект, при дозе 1000 мГр наблюдалось угнетение функциональной активности макрофагов. Авторами предположено, что воздействие малых доз гамма-излучения может быть одним из подходов прекондиционирования иммуномодулирующей и пролиферативной активности мезинхимальных косно-мозговых клеток [3].

В связи с недостаточностью знаний о механизмах воздействия низкоинтенсивной радиации существуют трудности с прогнозированием результатов этих воздействий на организмы, преодолением их негативных последствий и использованием их положительных результатов. Исследование механизма воздействия малых доз радиации на организм сельскохозяйственных животных является перспективным фундаментальным и прикладным направлением исследований.

1.4 Моделирование дозовой нагрузки для сельскохозяйственных животных

Доза облучения – это величина энергии ионизирующего излучения, полученного единицей массы организма за время его пребывания в зоне облучения или местности, загрязненной радиоактивными веществами. Доза облучения формируется за счет природных и техногенных источников ионизирующего излучения.

К природным источникам относят космическое излучение, излучение естественных радионуклидов почвы, воды, воздуха и излучение ^{40}K в организме. Интенсивность космического излучения определяется географической широтой и высотой над уровнем моря, на определенной территории значение космического излучения – величина постоянная. На территории центральных и южных районов Красноярского края величина поглощенной дозы,

обусловленной космическим излучением, составляет 0,4 мГр/год. Удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) в почвах, воде и воздухе определяется геологическими и геохимическими особенностями конкретной местности. Естественные источники радиации в условиях конкретной местности формируют естественный природный фон, который определяет дозу облучения. В Красноярском крае значение поглощенной дозы на открытой местности находится в диапазоне значений 0,5–0,9 мГр/год, в животноводческих помещениях – 0,4-0,9 мГр/год.

Антропогенные радионуклиды, находящиеся в компонентах окружающей среды, вносят дополнительный вклад в значение поглощенной дозы. В настоящее время техногенные радионуклиды попадают в биосферу в результате работы АЭС, запланированных выбросах в атмосферу и авариях.

Годовая поглощенная доза облучения складывается из внешнего и внутреннего воздействий ионизирующего излучения. Расчет дозовых нагрузок на сельскохозяйственных животных входит в перечень задач ветеринарных радиологических лабораторий, радиологических отделов ветеринарных лабораторий.

В.П. Рамзаевым с соавторами была проведена работа по оценке мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) и плотности загрязнение почв ^{137}Cs в агробиоценозах аграрных ландшафтов Брянской области в 2020-2021 г. В результате определено, что загрязнение почвы ^{137}Cs составляло 27-533 кБк/м^2, значение эффективной дозы внешнего облучения ^{137}Cs 0,004-0,20 мЗв/год [174].

Работ по определению значений поглощенных доз для сельскохозяйственных животных ограниченное количество, тогда как научных публикаций, посвященных расчету и определению доз облучения населения, достаточно [51, 62, 84, 82, 262].

Существует методика расчета доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами [45]. Имеются научные работы по оценке поглощенных доз вегетативной массой растений в условиях природных биогеоценозов и агробиоценозов. В работах Т.В. Преволоцкой с

соавторами проведен расчет мощности поглощенной дозы внешнего гамма-излучения травостоя от поверхностного слоя почвы и надземной фитомассы растений с применением разных методов [160]. Существует теория дозиметрической модели облучения растений, она основывается на правилах распределения радионуклидов хронических радиоактивных выпадений в системе «поверхность растений – поверхностный слой почвы». Переволоцкий А.Н. с соавторами выделяет пять основных мест нахождения техногенных радионуклидов и связанных с этим источников радиационного воздействия на растения. Предложенная дозиметрическая модель облучения аграрных биогеоценозов уточняет и дополняет существующие представления о формировании дозы растений при хроническом поступлении техногенных радионуклидов [161].

Удельная активность техногенных радионуклидов в компонентах агробиоценозов; их миграционная способность по цепи «почва, вода – растение – животное», соответственно поглощенная доза для сельскохозяйственных животных в субъектах РФ имеют различное цифровое выражение. Для определения радиоэкологического состояния агробиоценозов, степени дополнительного техногенного воздействия на организм животных используют значение поглощенной дозы ионизирующего излучения, сформированное в организме животного за единицу времени. Вопрос методики расчета поглощенных доз облучения сельскохозяйственных животных активно обсуждается в научных публикациях. В научных трудах М.Г. Ламзиной, А.С. Зенькина приведен расчет поглощенных доз коров в республике Мордовия, который проводился авторами согласно ВП 13.73.13/12-00 [118]. В.С. Авериным рассчитаны поглощенные дозы внешнего и внутреннего облучения коров на территории ближнего и дальнего радиоактивного следа аварии Чернобыльской атомной электростанции. Мощность внешнего облучения рассчитывалась на основании данных мощности экспозиционной дозы и времени облучения, доза внутреннего облучения определялась коэффициентом перехода радионуклида из рациона в мышечную ткань, содержанием радионуклидов в суточном рационе,

периодами полуснижения содержания радионуклидов в мышечной ткани и временем поступления. В результате работы автором установлено, что поглощенная доза у коров за пастбищный период в ближнем радиоактивном следе составила 31,4мГр/180 сут., в дальнем – 6,5 мГр/180 сут. [2]. А.В. Гулаковым и Д.Н. Дроздовым выполнен расчет дозы внутреннего облучения европейской косули, европейского лося, кабана, обитающих на территории Полесского радиационно-экологического заповедника. Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения рассчитывалась по гамма-излучению ^{137}Cs. Для расчетов авторы использовали значения коэффициентов дозового перехода, который определяется массой животного. Мощность поглощенной дозы внутреннего облучения ^{137}Cs рассчитывали как произведение удельной активности^{137}Cs в мышечной ткани (Бк/кг) и дозового коэффициента, равного мощности дозы, создаваемой 1 Бк/кг ^{137}Cs, мкГр/сутки [67]. Такой метод подразумевает определение удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани животного, что делает невозможным использование данного метода при жизни животных.

Рекомендациями МКРЗ [135, 235, 236,] разработаны анатомические и физиологические условные модели, установлены способы оценки радиационного воздействия на биоту, при этом оценка дозового воздействия определяется дозой облучения референтных организмов флоры и фауны. Создана база данных по нескольким типам организмов, которые характерны для основных экосистем. Модели позволяют сформировать основу для понимания соотношений между облучением и дозой, дозой и эффектом. В моделях референтные животные и растения рассматриваются как гипотетические объекты с определенными характеристиками конкретного семейства, объекты не являются защищаемыми существами, они выступают как реперные точки для создания модели. Исключение составляют млекопитающие, по их моделям можно установить зависимость «доза – эффект».

Для определения дозовых нагрузок на живой организм применяются методы математического моделирования, которые оценивают поглощенные

дозы за промежуток времени. При этом мощность поглощенной дозы референтного объекта биоты формируется из мощности дозы внутреннего облучения от изотопов, включенных состав тканей организма и мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, входящих в состав объектов биосферы.

Для расчета дозовых коэффициентов внешнего облучения от гамма-излучающих нуклидов, находящихся в объектах биосферы, используются программные комплексы. В программных комплексах дозовое воздействие радиации рассчитывается для референтных организмов. Существуют несколько программных комплексов: «EDEN» – программа оценки доз для организмов из разных экосистем, доза определяется радионуклидным составом и характеристикой среды облучения [228]; «ERICA Tool» – программа разработана при финансировании Европейского союза, используется для расчёта радиологических рисков для животных и растений с использованием трех-уровневого комплексного подхода воздействия радиации на биоту (первый уровень позволяет выявить загрязненные участки, на втором рассчитывается доза воздействия радиации на биологический объект, третий позволяет оценить показатели облучения [248]; «RESRAD-BIOTA» – программа определения влияния радиационного фактора на биоту, позволяет оценить радиационную ситуацию, рассчитать дозовые нагрузки и провести оценку доз облучения организма с заранее выбранной геометрией и дает возможность использовать конверсию доз [289].

Учеными проведена работа по анализу значений дозовых коэффициентов для внешнего облучения широкого круга видов биоты (от муравья до синих китов), находящихся в атмосфере, водной среде и почве (верхний 50 см слой). Анализ проведен с помощью прецизионной программы, моделирующей перенос излучения; в результате рассчитаны коэффициенты внешнего облучения от гамма-излучающих нуклидов, выявлено, что в воздушной среде обитания имеют значение энергия ионизирующего излучения и размер животного [157].

Существуют работы по оценке доз облучения референтных организмов (олень, крыса, змея, пчела, дождевой червь, сосна, трава) на территориях,

загрязнённой ^{137}Cs и ^{90}Sr, при различных сценариях использования территорий (в том числе сельскохозяйственное производство) и последующего их использования после проведения реабилитационных мероприятий (остаточная активность техногенных радионуклидов 1 мЗв/год). Однако, сценарий «сельскохозяйственное производство», рассматриваемый авторами, подразумевает только производство продукции растениеводства, к сожалению, не выполняется расчет доз облучения для сельскохозяйственных животных [197].

В некоторых работах оценка доз облучения базируется на коэффициенте дозового преобразования индивидуального для каждого изотопа, это отношение удельной активности изотопа в объектах окружающей среды к мощности поглощенной дозы референтного животного. В моделях R&D 128, DOSES3D [262] и Е.В. Спирина [188] подсчет коэффициента дозового преобразования производится путем интегрирования функции ослабления точечного источника радиации при оценке поглощенной дозы гамма-излучения животных массой от 1,5 до 550 кг., находящихся на территории, загрязненной радионуклидами. Расчеты коэффициентов дозового преобразования для референтных животных и растений с применением метода симуляции переноса излучения методом Монте-Карло и инженерного метода расчета мощности дозы имеют аналогичные результаты [173, 188, 262]. В настоящее время отдельными учеными ведется работа по расчету дозовых коэффициентов внешнего облучения для биоты с помощью прецизионной программы, моделирующей перенос излучения [160].

Для территории Красноярского края выполнен расчет дозы облучения рыбы р. Енисей. Вылов рыбы проведен в районе с. Атаманово – ближняя зона влияния ФГУП «ГХК». Мощность дозы внутреннего облучения рыб рассчитывали на основании удельной активности антропогенных радионуклидов в организме рыб с применением расчетных дозовых коэффициентов, в результате расчета определенно, что поглощенная доза для хариуса составила 22,3 мкГр/сут., для щуки – 36,4 мкГр/сут. [173]. Авторами определена удельная активность техногенных радионуклидов в водных растениях, зоо- и фитопланктоне, рыбе; при этом удельная активность ^{137}Cs в рыбе не превышает

уровень, регламентированный СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2401-08.

В связи с этим расчет поглощенных доз ионизирующего излучения крупного рогатого скота в агробиоценозах Красноярского края с различной техногенной напряженностью является актуальным.

1.5 Интегральная оценка эколого-радиобиологического состояния агробиоценозов

Обсуждение вопросов оценки экологического состояния, экологического статуса, экологического благополучия сложных природных систем началось в конце XX века в связи с развитием методов оценки эмерджентных свойств сложных систем в природе и обществе. Необходимость применения интегрального показателя приводится во многих отечественных и зарубежных публикациях [11, 264, 288].

Г.Г. Поликарповым была предложена общая концептуальная модель действия долгосрочного (хронического) ионизирующей радиации во всем диапазоне существующих и возможных мощностей доз на все уровни организации живой природы (организмы, популяции, сообщества, экосистемы, биосферу). Модель базируется на фиксации изменений в наиболее радиочувствительных структурах и функциях живых организмов и надорганизменных систем [270] Модели Поликарпова в целом соответствует система экологических регламентов, принятая в США [284] и Канаде [272].

С учетом шкалы дозовых нагрузок, предложенных в работе [102] и шкалы для оценки воздействия на биосферу [270] предложенной коллективом авторов книги «Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома» предложен модернизированный вариант шкалы для предварительной оценки дополнительного радиационного воздействия на биосферу, основанный на радиобиологических экспериментах и наблюдениях (табл. 1.5.1) [170].

По мнению авторов дозовые нагрузки менее 400 мГр/год не должны вызывать сильной озабоченности, потому что радиобиологические эффекты

выявляются только на уровне отдельных структур организма и не могут быть дифференцированы от эффектов влияния других негативных факторов. Поглощенная доза в 10 000 мГр является пороговым значением очень высокого влияния ионизирующего излучения, поглощенные дозы воздействия на биоту в значении более 100 000 мГр/год авторы относят к неприемлемыми при любых условиях [170].

Таблица 1.5.1 – Шкала для оценки уровней воздействия на биоту

Поглощенная доза, мГр/год	Степень воздействия	Радиобиологические эффекты
менее 100	Незначительная	Отсутствуют
до 100	Очень низкая	Регистрируются радиобиологические эффекты в отдельных биологических структурах организма
100-400	Низкая	Выявляется повреждающие радиобиологические последствия, сопоставимые или превышающие эффекты гормезиса
400-10 000	Средняя	Гибель радиочувствительных организмов, отмечаются устойчивые радиобиологические эффекты при достижении верхней границы доз
более 10 000	Высокая	Обратимые нарушения экосистем, радиобиологические эффекты регистрируются у радиорезистентных видов животных
более 100 000	Очень высокая	Необратимые нарушения экосистем, массовая гибель многих видов животных

Для человека авторы предлагают контрольный уровень в 0,01мЗв, что во много раз ниже, чем радиационная нагрузка на биоту в случае воздействия γ-излучения. Согласно рекомендациям МКРЗ при достижении значений эквивалентной дозы воздействия на человека в 100 мЗв необходимо выполнение процедуры обоснования и оптимизации. Авторами предложены методика количественной оценки радиоэкологического воздействия с использованием безразмерных весовых коэффициентов и методика интегральной оценки радиоэкологического состояния окружающей среды вокруг предприятий Росатома на основе методологии анализа риска [170].

Для каждого субъекта РФ необходим перечень экологических индексов для эколого-радиобиологической оценки состояния природной среды, селитебных территорий и агробиоценозов с учетом природно-геологических условий, хозяйственного использования, техногенной нагрузки. Для оценки необходимо провести анализ техногенных факторов, на основании этого выявить основные экологические проблемы субъекта – экологические индексы. Для каждого экологического индекса необходимо разработать комплекс оценочных критериев – баллов. На основании расчета суммы оценочных баллов по экологическим индексам классифицировать экологическое состояние территории.

В настоящее время учеными проводится работа, по интегральной оценке, радиационно-загрязнённых территорий. Гегерь Э.В. с соавторами предложили интегральную оценку территории Брянской области, на основании данных мониторинга 2005-2017гг. Авторами предложен интегральный показатель, учитывающий уровень загрязнения атмосферы, воды, продуктов питания химическими и радиоактивными веществами. Учитывались химические вещества в пище, загрязнение атмосферного воздуха и воды, радиационное загрязнение окружающей среды. Для определения общего загрязнения рассчитывались интегральные критерии для каждого из видов загрязнения по формуле:

$$I = g_1 I_1 + g_2 I_2 + ... + g_i I^i ,$$

где: gi – весовые коэффициенты, которые определяют вклад отдельных факторов в интегральный показатель загрязнённости, Ii – количественный показатель каждого i-го вида загрязнения.

В результате авторам удалось выполнить дифференциацию районов Брянской области по уровню техногенного загрязнения. Исследование позволило дать количественную оценку опасности, выявить их организационную структуру, аргументировать необходимые профилактические мероприятия для данной территории [48].

На территории Красноярского края используется интегральный показатель радиационной обстановки (ИПРО) [22], где используются параметры природных и техногенных источников ионизирующего излучения. К природным показателям относятся: МАЭД внешнего гамма-излучения (мкЗв/ч); удельные активности: ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K (Бк/кг), эффективная удельная активность (Бк/кг); плотность потока Rn (мБк/м^{2}с). В перечень техногенных показателей входят удельные активности ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{238,239,240}Pu Бк/кг.

Для расчета ИПРО для каждого показателя радиационной обстановки из имеющейся совокупности средних значений по районам ($\bar{X}i$) определяется минимальное ($\bar{X}i\ min$) и максимальное ($\bar{X}i\ max$) значение, где i – i-ты показатель ИПРО.

Для каждого i-го показателя ИПРО по i-тому району рассчитывается величина нормированного критерия по формуле: $g_i = \frac{(\bar{X}ij - \bar{X}i\ min)}{(\bar{X}\ i\ max - \bar{X}i\ min)}$

где: $\bar{X}ij$ – среднее значение i-го показателя для j-го района.

Значение ИПРО для j-го района определяется по формуле: ИПРО$j = \frac{\sum J\ gij}{ni}$

где: ni – количество показателей ИПРО в районе.

Рассчитанная в результате безразмерная величина ИПРО для каждого района изменяется в диапазоне 0-1 и позволяет дифференцировать районы по радиационной опасности. Оценка радиационной опасности территории Красноярского края согласно данным ИПРО: менее 0,26 – благополучная; 0,26-0,52 – нормальная; 0,52-0,65 – удовлетворительная; 0,65-0,78 – допустимая;

более 0,78 – напряженная. Однако, ИПРО не учитывает специфику условий агробиоценозов, в связи с этим предложение методики расчета интегрального показателя радиационной опасности агробиоценозов (ИПРОА) и перечня показателей для его расчета является необходимым. Использование ИПРОА позволит комплексно проводить радиоэкологическую оценку состояния агробиоценозов. Использование ИПРОА рекомендуется не только в агробиоценозах Красноярского края, но и в других субъектах РФ.

1.6 Корреляционные взаимосвязи «доза облучения – радиобиологический эффект»

Дополнительное техногенное загрязнение регистрируется на территориях некоторых субъектов РФ. Вопрос влиянии антропогенного радиоактивного загрязнения агробиоценозов на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных и безопасность растениеводческой и животноводческой продукции является актуальным направлением сельскохозяйственной радиоэкологии.

Применение интегральной оценки эколого-радиоэкологического состояния агробиоценозов позволяет оценить уровень техногенного воздействия на агробиоценозы. Определение корреляционной взаимосвязи между уровнем техногенного загрязнения агробиоценозов и степенью радиобиологических эффектов относится к одной из современных задач радиобиологии. В настоящее время существуют научные работы, посвященные корреляционной взаимосвязи уровня техногенного загрязнения и степенью проявления некоторых радиобиологических эффектов [256, 282].

Устинова А.А. в диссертационной работе «Процессы ПОЛ в условиях хронического действия малых доз» установила, что на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) выявлена отрицательная корреляционной взаимосвязь (г=-0.8) между ПОЛ в печени полевых мышей и удельной активностью ^{90}Sr в почве. Отрицательная корреляционная взаимосвязь свидетельствует о сложном характере действия малых доз радиации на биологические объекты [202]. В работе Кудяшева А.Г. выявила линейную

корреляционную взаимосвязь между значениями экспозиционной дозы (50-2000 мкР/ч) и увеличением численности полевок и активностью ферментов в головном мозге и сердечной мышце, (r=0,90-0,99) [112]. Е.А. Кодинцевой с соавторами установлена корреляционная связь между содержанием противовоспалительных цитокинов в сыворотке крови и индивидуальной кумулятивной дозой облучения жителей прибрежных сел р. Теча, подвергшихся хроническому облучению [99].

Воронцовой З.А. с соавторами в эксперименте на крысах, подвергнутых внешнему облучению в дозf[5,19,25 и 50 мЗв, выявлена сильная корреляционная связь между коэффициентом опухолевого процесса и перечнем морфологических показателей функционального состояния эндокринных желез [47].

В связи с этим существует необходимость установления корреляционной взаимосвязи между уровнем техногенного загрязнения агробиоценозов Красноярского края и степенью проявления некоторых радиобиологических эффектов.

1.7 Характеристика Красноярского края

Красноярский край расположен в центральной части России, в средней и Восточной Сибири на площади 2366,8 тыс. км^2. Краевой центр – г. Красноярск, находится от Москвы в 3955 км в восточном направлении. Край граничит с Тюменской, Томской, Кемеровской, Иркутской областями, Республиками Хакасия, Тыва, Саха (Якутия). Северная точка края расположена на архипелаге Северная Земля (87^0 41' с. ш.), южная (51^0 48′с. ш.) находится на границе с республикой Тыва, на территории края находится географический центр РФ.

В административных границах края расположены 544 муниципальных образования, на территории расположено более 1748 населенных пунктов, в которых проживают 2849,2 тыс. человек. В Красноярском крае проживают 2 845

545 человек, в том числе 2 264 708 человек в городах и 580837 человек в сельской местности. Города и сельские поселения в основном расположены в центральных и южных районах, составляющих около 10 % всей территории края. Здесь сосредоточено 80 % населения и расположено 75 % сельскохозяйственных угодий. [104]. Красноярский край является одним из основных горнодобывающих и перерабатывающих, и сельскохозяйственных, субъектов Российской Федерации, богат полезными ископаемыми, это – уголь, железная руда, цветные и редкие металлы, поваренная соль, фосфориты.

С севера на юг на протяжении 3 487 км пересекает река Енисей – самая многоводная река РФ. В Енисей впадают многоводные притоки (Нижняя Тунгуска – 2 989 км, Подкаменная Тунгуска – 1 865 км, Ангара – 1 779 км) формирующие дебит воды в различных природных условиях. Подземные воды, центральных и южных районов Красноярского края сформированы в девять артезианских бассейнов: Ангаро-Канский, Ангаро-Ленский, Аргинский, Восточно-Саянский, Назаровский, Рыбинский, Солгонский, Чебаково-Балахтинский и Чулымский [196]. В границах артезианских бассейнов находятся практически все типы радиоактивных природных подземных вод. В Красноярском крае регистрируются: минеральные воды; подземные воды, с допустимой концентрацией естественных радионуклидов (ЕРН); воды водоносных горизонтов имеющих повышенное рассеянное содержание ЕРН в породе; подземные воды горизонтов, имеющих высокое содержание изотопов радия (Ra) в породе; подземные воды горизонтов имеющие рудные концентрации ЕРН.

Для всей территории края характерен резко континентальный климат, на территории края выделяют три климатических пояса: арктический, субарктический и умеренный. Средняя температура января на севере и Среднесибирском плоскогорье – от –30 до –36° С, в районах Енисейска, Красноярска и на юге – от –18 до –22 °С. Продолжительность теплого периода (температура более 10 ^{0}С) на юге края – 110-120 дней, на севере – менее 40 дней. Лето в центральных районах кая умеренно теплое, на юге – теплое.

Площадь лесного фонда края составляет 56,75% от территории региона. Растительный покров тундровой зоны края охарактеризуется пестротой и комплексностью – разные типы тундр перемежаются болотами. Таёжные леса распространяются до северных территорий. Обширные территории края занимает средняя и южная тайга, здесь размещаются огромные площади сосновых лесов, в южных горных районах расположены основные площади кедровых лесов РФ. На территории лесостепи и степи располагаются основные сельскохозяйственные угодья, которые составляют 16,8% от всей территории края. Сельскохозяйственная территория региона находится между 53^0 и 59^0 северной широты, распространяется на значительной территории и характеризуется значительным разнообразием почв и климатических условий.

Обширная территория края вытянута с севера на юг и характеризуется высоким разнообразием растительного покрова. Травостои лугов выражены крупными осоками, болотными злаками и довольно производительны (до 28 ц/га сена). В пределах подзоны средней тайги нелесные типы растительности, злаковые и разнотравные луга занимают около 20% поймы р. Енисея. Островные лесостепи Красноярского края: Ачинская, Красноярская, Канская и степепные фитоценозы Минусинской котловины занимают большие межгорные понижения и поделены лесистыми поднятиями. Зональный тип растительности в зоне лесостепи представлен луговыми, полынно-ковыльными, мелко-дерновинными, степями, в травостоях преобладают лесные и лугово-степные мезофиты, а также степные ксерофиты сибирского и даурско-монгольского происхождения.

На территории Красноярского края преобладают мерзлотно-таёжные, горно-таёжные, подзолистые почвы тайги и горно-тундровые почвы. Почвы края около 7 – 9 месяцев в году находятся в мёрзлом состоянии, поэтому в них формируется уникальный водно-тепловой режим, имеющий наименование – «длительно-сезонно-мерзлотный».

Для сельскохозяйственного производства наиболее благоприятны зоны южной тайги, подтайги, островных лесостепей и степей. Для сельского хозяйства

в зоне южной тайги наибольший интерес представляют дерново-глеевые почвы террас Енисея и его крупных притоков[1].

Островные лесостепи Красноярского края (Ачинско-Боготольская, Красноярская, Канская), переходящие к югу в степи Минусинской котловины, характеризуются равнинным и холмисто-увалистым рельефом, представлены чернозёмами, главным образом плодородными серыми лесными почвами, черноземными и каштановыми почвами.

Дерново-подзолистые почвы края отличаются от аналогов европейской части страны более высоким содержанием гумуса (до 6%), менее кислой реакцией почвенного раствора. Переходную зону от южной тайги к лесостепи называют подтайгой. Наиболее распространенными почвами здесь являются дерново-подзолистые и серые лесные, осваиваемые под земледелие. На долю почв южной тайги и подтайги приходится около 9% территории края, серые лесные почвы составляют более 28% обследованных почв, освоенных под сельское хозяйство.

Серые лесные почвы также характерны для лесостепей и степей, где наряду с ними распространены черноземы оподзоленные и выщелоченные. Черноземы оподзоленные занимают северные окраины островных лесостепей (Ачинско-Боготольской, Красноярской, Канско-Рыбинской) и лесостепей Минусинских впадин. Местами они перемежаются с темно-серыми лесными, а на юге с выщелоченными черноземами. Среди них преобладают средне-гумусные и тучные (8-13%).

Выщелоченные черноземы – наиболее распространенный подтип среди черноземов лесостепи. Они занимают широкие водораздельные поднятия, обладают по сравнению с другими почвами хорошими водно-физическими свойствами. Среди них встречаются как средне-гумусные, так и тучные (6 – 10% гумуса), а по мощности гумусного горизонта – маломощные (до 30 см),

---

[1] Географические особенности устойчивого развития аграрного природопользования Красноярского края. Безруких В.А., Елин О.Ю. Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2012. № 7. С. 24-29.

среднемощные (30-50 см) и мощные (более 50 см). По механическому составу преобладают тяжелосуглинистые.

Лугово-черноземные почвы покрывают около 4% высоких террас в долинах рек и пониженной части лугов. По строению профиля они близки к черноземам. Для этих почв характерно большое содержание азота и мало фосфора. При повышенном увлажнении на лугово-черноземных почвах затягивается процесс вегетации и сельскохозяйственные культуры попадают под заморозки. На все почвы территории Красноярского края в настоящее время оказывается влияние хозяйственной деятельности.

Красноярский край является крупным сельскохозяйственным регионом Центральной и Восточной Сибири. Более 50 % краевого объёма сельскохозяйственного производства приходится на районы, расположенные в центральной и юго-западной частях края: Назаровский, Емельяновский, Ужурский, Березовский, Шушенский, Манский, Балахтинский, Шарыповский, Минусинский, Краснотуранский. Основные отрасли сельского хозяйства в Красноярском крае: животноводство, птицеводство и растениеводство.

В центральных районах края разводят крупный рогатый скот, лошадей и сельскохозяйственную птицу, на юге края активно развивается овцеводство. Из животноводческой продукции регион производит: молоко, свинину, говядину, баранину, мясо птицы, яйцо. На севере края развивается оленеводство, звероводство. В крае возделывают следующие виды сельскохозяйственных растений: овес, пшеница, рожь, ячмень, просо, гречиха, горох, подсолнечник, соевые бобы, рапс, картофель, овощи открытого и защищенного грунта.

Площадь сельскохозяйственных угодий в крае – 5409,1 тыс. га. Среди пахотных угодий в Красноярском крае преобладают почвы тяжелого гранулометрического состава: глинистые – 30,7%, тяжелосуглинистые – 45,4%, среднесуглинистые – 20,4%, легкосуглинистые -3,1%, супесчаные – 0,28% и песчаные – 0,02%. Основные пахотные земли расположены в степных и лесостепных районах Минусинской котловины и островных лесостепях.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-исследовательская работа осуществлялась с 2012 по 2022 гг. на базе ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных.

Научно-исследовательские эксперименты проводились в лаборатории кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, на базе научно-исследовательского, испытательного центра ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Спектрометрические исследования проведены в лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь» – филиал АО «ГК ШАНЭКО» и лаборатории Федеральное государственного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Красноярский». Хемилюминесцентный анализ выполнен в лаборатории Международного научного центра исследований экстремальных состояний организма при Президиуме Федерального исследовательского центра Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук.

Исследования выполнялись в рамках стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (п.2 (г) от 01.12.2016 г. № 642); основных приоритетных направлений государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае (постановление Законодательного Собрания Красноярского края от 07.07.2009 г. № 8-3635П (в ред. от 26.06.2014 г. № 6-2544П); и утвержденной госбюджетной тематики научно-исследовательских работ (протокол №2 от 21.03.2017 г.) на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных.

Общая схема исследований представлена на рисунке 2.1.1

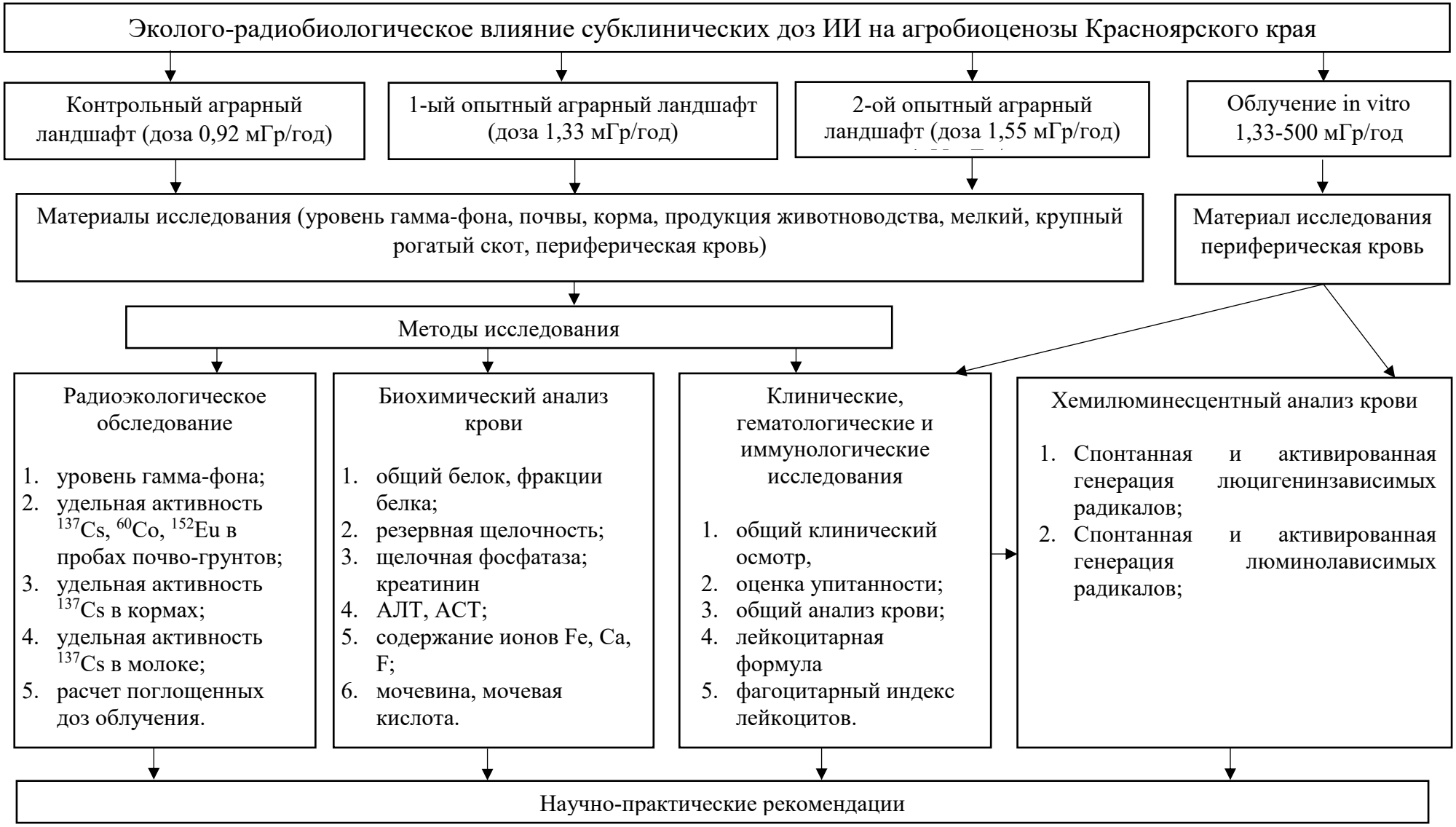


Рисунок 2.1.1 – Схема исследований

Объекты исследования. Исследования проведены в 2010-2022 гг. объектами являлись три аграрных ландшафта Красноярского края, имеющих различный радиоэкологический статус: с поглощенной годовой дозой для сельскохозяйственных животных 0,92 мГр, являющейся фоновой для Красноярского края (ООО «Миндерлинское») – контрольный ландшафт; с дозой – 1,33 мГр/год (с. Момотово) – первый опытный аграрный ландшафт; с дозой – 1,55 мГр/год (с. Большой Балчуг) – второй опытный аграрный ландшафт. Опытные аграрные ландшафты географически принадлежат территории зоны наблюдения ФГУП «ГХК».

Контрольный аграрный ландшафт ООО «Миндерлинское» находится в п. Борск, (56°26'20" с.ш., 92°54'25" в.д.), расположенном в 50 км на север от г. Красноярска, в Сухобузимском районе Красноярского края. Численность населения поселка составляет 2 536 чел. (на 01.01.2022). ООО «Миндерлинское» является учебным хозяйством ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ, с поголовьем в 850 голов, из которых 377 – лактирующие коровы.

Первый опытный агарный ландшафт расположен на 57°37'45" с.ш., 93°19'12" в.д. основан в 1650 г., находится на удалении 183 км на север от г. Красноярска, в Казачинском районе Красноярского края, на правом берегу реки Енисей. В селе проживает 781 человек (на 01.01.2022) [104], его жилая зона занимает площадь 222 га рисунок 2.1.2

Второй опытный агарный ландшафт расположен на 56°27'12" с.ш., 93°42'44" в.д. (рисунок 2.1.3), основан в 1640 г., находится в удалении 40 км в северо-восточном направлении от г. Красноярска, в Сухобузимском районе Красноярского края. Аграрный ландшафт располагается на возвышенной (6,5-8,0 м) надпойменной террасе правого берега протоки р. Енисей, в 6 км от границы санитарно-защитной зоны ФГУП «ГХК». Его жилая зона состоит 34 подворий, общей площадью 60 га. на состояние 01.01.2022 в селе находится 128 человек [104].

Рисунок 2.1.2 – Карта Момотовского аграрного ландшафта

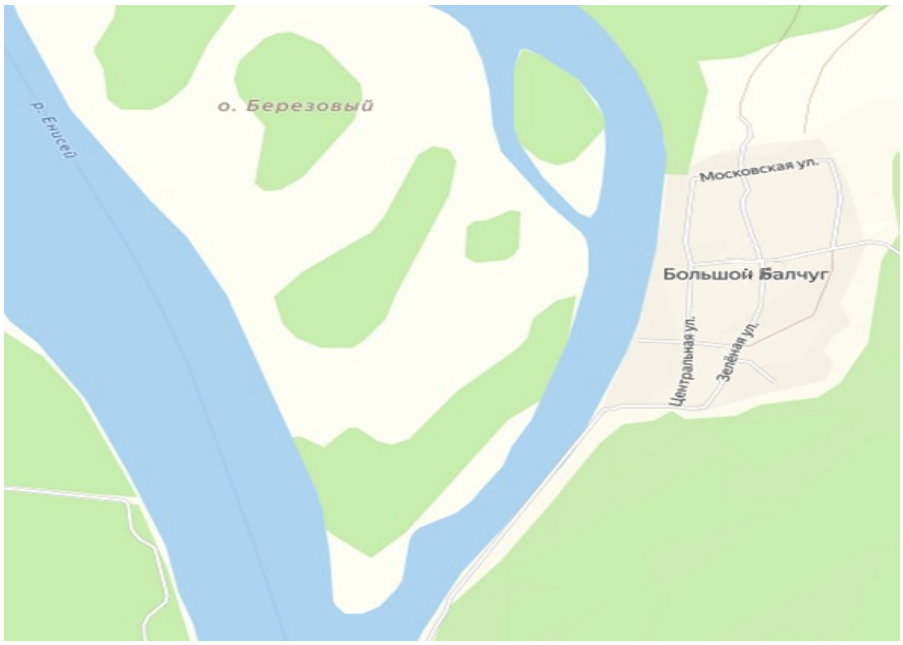


Рисунок 2.1.3 – Карта Балчугского аграрного ландшафта

На пастбищных агробиоценозах, расположенных на берегу р. Енисей, опытных агарных ландшафтов выявлены участки с дополнительной техногенной нагрузкой, которая сформировалась в результате деятельности ФГУП ГХК.

Моделирование радиобиологических эффектов субклинических доз проведено на облученной «in vitro» крови крупного рогатого скота аграрного ландшафта ООО «Емельяновское», имеющего фоновое значение годовой поглощенной дозы (0,92 мГр). Схема проведенных исследований приведена на рисунке 2.2.3

Агарный ландшафт ООО Емельяновского расположен в Емельяновском районе Красноярского края, в поселке городского типа Емельяново, на 56°10′14″ с. ш. 92°40′20″ в.д. Поселок основан в 1700г., находится на правом берегу р. Качи, в 15 км к западу от г. Красноярска, в селе проживает 13875 человек. В ООО Емельяновском общее поголовье скота составляет 2700 гол.

2.1 Радиоэкологическое обследование агробиоценозов

Объектами радиоэкологического обследования являлись аграрные ландшафты: пастбищные, сенокосные и ферменные агробиоценозы. Материалами для исследования служили: почвы, корма, продукция животноводства (молоко коровье). Радиоэкологический мониторинг осуществлен в аграрных ландшафтах с различной фоновой и повышенной удельной активностью техногенных радионуклидов (таблица 2.1.1). Повышенная удельная активность техногенных радионуклидов зарегистрирована в аграрных ландшафтах, загрязненных в результате деятельности ФГУП ГХК (20-километровая зона и 1000 м поймы реки Енисей). Радиоэкологические исследования агробиоценозов проведены согласно методических указаний «МУ 13.5.13-00 «Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов»» [139]. Выбор контрольных и радиоактивно-загрязненных агробиоценозов осуществлен по принципу их экологической идентичности и различий по уровню γ-фона, содержанию 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 (рисунок 2.1.4)

А Б

Рисунок 2.1.4 – Рекогносцировочные измерения γ-фона на сенокосных (А), пастбищных (Б) агробиоценозах

Для рекогносцировочных измерений γ-фона, контроля мощности дозы внешнего гамма-излучения использован поисковый радиометр СРП-68-01 и многофункциональный широкодиапазонный профессиональный дозиметр ДРГ-01Т1. Отбор проб почвы и грубых кормов проводился согласно нормативно-методических документов Роспотребнадзора и Россельхознадзора РФ [44, 54, 116, 137-140].

В контрольном аграрном ландшафте (поглощенная доза 0,92 мГр/год) исследование проведено на 5х сенокосно-пастбищных агробиоценозах общей площадью 1530 га (469 точек гамма-сьемки). В первом опытном аграрном ландшафте (1,33 мГр/год) проведено исследование 8 сенокосно-пастбищных агробиоценозов, общая площадь гамма-сьемки 188,3 га (238 точки гамма-съемки). Во втором опытном аграрном ландшафте (1,55 мГр/год) проведено

исследование 8 сенокосно-пастбищных агробиоценозов (224 точки гамма-сьемки),общей площадью 190,7 га. таблица 2.1.1.

Пробы почвы в сенокосно-пастбищных агробиоценозах отбирали в пяти точках методом «конверта», и дополнительно в местах с высокими показателями гамма-фона (мкР/ч). При отборе методом «конверта» в 4 точках отбор проводили с глубины 10 см, в центре «конверта» отбор выполняли на глубину 30-40 см (в зависимости от характера грунта), с послойным 10-см делением пробы (рисунок 2.1.5). Пробы почвы помещались в двойной полиэтиленовый пакет и снабжались сопроводительной этикеткой.

А

Б

Рисунок 2.1.5 – Отбор проб почвы на пастбищных агробиоценозах: А-послойный отбор проб (30см), Б – отбор проб на пастбищном агробиоценозе

Всего исследовано проб почво-грунтов в аграрных ландшафтах: контрольный – 57 шт., первый опытный – 30 шт, второй – 49шт. В пробах почвы определялась удельная активность техногенных радионуклидов (^{137}Cs,

^{60}Co, ^{152}Eu). Гамма-спектрометрию проб проводили в геометрии сосуда Маринелли в течении 2400-3600с. на гамма-спектрометрах «МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметре-радиометре МКС-АТ130 [130, 131]. Исследования выполнены на базе лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь» – филиал АО «ГК ШАНЭКО».

Перед отбором проб травы выполняли дозиметрический контроль мощности дозы гамма-излучения пастбищного участка с помощью радиометра СРП-68-01. Средняя проба травы формировалась путем скашивания вегетативной части растений в квадратах 10×10м, расположенных по диагонали пастбищного участка, перемешивания зеленой массы, масса средней пробы – 3 кг. В опытных аграрных ландшафтах отбор проб сена проводится в осенний период, пробы сена отбирались из зародов, принадлежащих определенным ферменным биоценозам и находящихся на советующих сенокосных агробиоценозах. В контрольном аграрном ландшафте пробы отбирались так же в осенний период из скирд. Средняя проба сена разнотравного образовывалась из точечных образцов, отобранных из зарода или скирды с глубины 50 см внутрь, на высоте 1,5 метра от земли. Из точечных образцов составлялась одна объединенная (средняя) проба, массой 1 кг которая снабжалась сопроводительным талоном

В контрольном аграрном ландшафте пробы молока отбирались из общего объема молочной цистерны, после тщательного перемешивания. Точечные образцы отбирались с поверхности с глубины 1,5 м и со дна, помешались в чистые 3-литровые стеклянные банки, снабжались сопроводительным талоном, объём одной пробы составлял 3 л. В опытных аграрных ландшафтах пробы молока, отбирались так же в осенне-зимний период, путем индивидуального доения коров выделенных ферменных биогеоценозов. В работе учитывалась принадлежность сенокосно-пастбищных участков (места отбора проб почвы и кормов) к определенным ферменным биогеоценозам. Это являлось необходимым условием для построения линейных корреляционных связей между удельной активностью

^{137}Cs в почве, кормах и продукции животноводства.

Удельная активность ^{137}Cs в грубых, сочных кормах и продукции животноводства определялась согласно методикам ФГУП ВНИИМ [130, 131] с предварительным озолением. Удельную активность определяли на гамма-спектрометрах МКГБ-01 РАДЕК» и «Гамма-1С», дозиметре – радиометре МКС-АТ130 в геометрии сосуда Маринелли 250мл, время измерения 7200с. Исследования выполнены на базе лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» и лаборатории радиационного контроля «ШАНЭКО Сибирь» – филиал АО «ГК ШАНЭКО».

Дозы облучения крупного рогатого скота рассчитывались согласно ВП 13.73.13/12-00 «Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами». Основными факторами радиационного воздействия было принято внешнее гамма-излучение почвенных радионуклидов и внутреннее облучение, обусловленное поступлением радионуклидов с кормом. Автором на основании радиоэкологических особенностей агробиоценозов Красноярского края была предложена методика расчета годовой поглощенной дозы для сельскохозяйственных животных [204].

2.2 Клинические, гематологические и биохимические исследования

В период с 2017 по 2019 год проведено клиническое обследование крупного рогатого скота и овец в контрольном и опытных аграрных ландшафтах. Клиническое исследование включало сбор анамнеза, общий клинический осмотр животных, оценку упитанности. Общий клинический осмотр проводили по общепринятой схеме [70], оценку упитанности проводили согласно методики Э. Уайлдмана.

Исследована периферическая кровь в контрольном аграрном ландшафте от 41 головы крупного рогатого скота и 31 овцы. В первом опытном аграрном ландшафте от 38 коров, во втором опытном – от 31 головы крупного рогатого

скота и 18 голов овец; (таблица 2.1.1). Отбор проб периферической крови для гематологических, биохимических, иммунобиологических и хемилюминесцентных 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 облучение проб периферической крови крупного рогатого скота «in vitro» в дозах от 1,33 мГр до 500 мГр, всего исследовано 213 пробы крови, 43 проб служили контролем и не подвергались облучению. Облучение проводили на установке «УПО-Интер», укомплектованной источником ^{137}Cs.

Общей анализ крови проведен по общепринятым методикам [187], подсчет содержания лейкоцитов и эритроцитов выполняли в счетной камере Горяева при увеличении объектива ×40 микроскопа Микмед-5, СОЭ оценивалось методом Панченкова. Для выведения лейкоцитарной формулы использовали метод Мухина: подсчитывалось 100 клеток в средней части поперёк мазка от одного края до другого при увеличении объектива ×90 микроскопа Микмед-5, мазки крови окрашивались по методу Паппенгейма. Исследования выполнялись на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ и научно-исследовательском центре ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

Биохимические исследования сыворотки крови проведены на базе научно-исследовательского, испытательного центра ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ с использованием спектрофотометра ПЭ-5400 уф. Содержание гемоглобина определяли на спектрофотометре с использованием набора «Гемоглобин-ольвекс».

Глюкозу оценивали энзиматическим колориметрическим методом без депротеинизации с использованием «Ольвекс» диагностикума. Принцип метода основан на воздействии фермента глюкозооксидазы β и D. Глюкоза

окисляется до D-глюконолактона, в результате образуется перекись водорода, которая в присутствии фермента пероксидазы способствует окислительному азосочетанию 4-аминоантипирина и фенола с образованием окрашенного соединения (хиниминовый краситель). Интенсивность окраски определяется фотометрически при длине волны 500нм (490-540нм), интенсивность окраски пропорциональна концентрации глюкозы [224].

Резервную щелочность устанавливали по методу Раевского, метод основан на способности бикарбонатов образовать с хлористым натрием окрашенный комплекс в присутствии ализаринового красного. Содержание бикарбонатов определяли титрованием 0,01н раствором соляной кислоты.

Уровень щелочной фосфатазы исследован унифицированным методом с использованием комплекта реагентов «щелочная фосфатаза-витал». Метод основан на реакции диссоциации водного раствора паранитрофенилфосфата в присутствии фермента – щелочной фосфатазы, с образованием паранитрофенола и фосфата. Концентрация щелочной фосфатазы пропорциональна количеству образовавшегося паранитрофенола, которое определено фотометрически при длине волны 405нм.

Содержание аспартатаминотрансферазы (АСТ) оценивалось унифицированным методом Райтмана-Френкеля с применением набора реагентов «АСТ-витал». Количественное определение АСТ основано на реакции переаминирования между D,L-аспартатом и α-кетоглутаратом, происходящей при катализе аспартатаминотрансферазой. В ходе реакции образуется L-глутамат и оксалоацетат. Уровень фермента установлен путем измерения оптической плотности фотомерически при длине волны 537 нм (500-560нм) окрашенных в щелочной среде 2,4-динитрофенилгидразонов α-кетоглутаровой и щавеливоуксусной кислот. Концентрация образовавшегося гидразона щавеливоуксусной кислоты пропорциональна содержанию АСТ.

Уровень аланинаминотрасферазы (АЛТ) фиксировали унифицированным методом Райтмана-Френкеля с применением набора реагентов «АЛТ-витал». Количественное определение основано на реакции

переаминирования между D,L-α-аланином и α-кетоглутаратом, происходящей под каталитическим действием аланинаминотрансферазы. В результате образуются L-глутамат и пируват. Содержание АЛТ определено измерением оптической плотности при длине волны 537 нм (500-560 нм.) окрашенных в щелочной среде 2,4-динитрофенилгидразонов α-кетоглутаровой и пировинорадной кислот. Концентрация образовавшегося гидразона пировиноградной кислоты пропорциональна концентрации АЛТ.

Концентрация мочевины измерялась уреазным фенол/гипохлоритным методом с использованием реагента «Мочевина-02-витал». Метод основан на гидролизации мочивины под действием уреазы с образованием карбоната аммония, с последующей реакцией ионов аммония в присутствии нитропруссида с фенолом и гипохлоритом, с образованием окрашенного комплекса (интенсивность окраски пропорциональна концентрации мочевины), измеряется фотомерически при длине волны 540 нм.

Содержание креатинина регистрировалось в реакции Яффе с депротеинизацией, с использованием комплекта реагентов «Креатинин-витал». Реакция основана на образовании креатинином с пикриновой кислотой в щелочной среде окрашенного комплекса, интенсивность окраски оценивали при длине волны 505 нм.

Уровень железа определялся колориметрическим методом без депротеинизации с использованием комплекта «Железо-витал». Метод основан на десорбции железа и восстановлении его до двухвалентного состояния, с последующим образованием с хромогеном Нитро-PAPS окрашенного комплекса, интенсивность окраски оценивали при длине волны 578 нм. (560-600 нм.).

Содержание кальция оценивали унифицированным колориметрическим методом с использованием реагента «Кальций-витал». Метод основан на способности кальция в щелочной среде образовывать окрашенный комплекс с о-крезофталеинкомплексоном, интенсивность окраски оценивали при длине волны 570 нм (540-590 нм).

Содержание фосфора фиксировали молибдатным uv-методом с использованием реагентов «Фосфор-витал». Метод основан на способности фосфора в растворе серной кислоты образовывать с молибдатом аммония фосфомолибдатный комплекс, интенсивность окраски оценивали при длине волны 340 нм. [224].

Определение мочевой кислоты проводили колориметрическим методом с использованием комплекта «Мочевая кислота-1-ольвекс». Метод определения основан на реакции взаимодействия Fe (II) с фенантролином после восстановления Fe (III) мочевой кислотой, интенсивность окраски определялась при длине волны 500 нм (490-520нм).

Концентрацию общего белка измеряли биуретовым методом с использованием комплекта «Общий белок-витал». Метод основан на соединении молекул белка и ионов меди в щелочной среде, с последующим окрашиванием, интенсивность окраски определяли при длине волны 540нм.

Содержание белковых фракций оценивали нефелометрическим методом, который основан на осаждении белковых фракция фосфатными растворами определенной концентрации.

2.3 Иммунологические исследования

Изучение состояния иммунной системы включали: определение общего содержания лейкоцитов, их фагоцитарной активности, количественные показатели фракций белков крови (альбуминов, глобулинов). Методики определения общего содержания лейкоцитов и белковых фракций сыворотки крови описаны в разделах 2.1.2 и 2.1.3 соответственно.

Фагоцитарная активность лейкоцитов устанавливалась при антигенной активации «in vitro» частицами латекса (ФГУП ВНИИСК, С-Петербург) в концентрации $5x10^8$ част./мл. Частицы латекса опсонизированы белками пуловой сыворотки крови крупного и мелкого рогатого скота. Образцы крови исследовались после проведения активированной хемилюминесцентной

реакции (раздел 2.2.5), были предварительно окрашены 0,25% раствором генцианвиолета на основе 3% раствора уксусной кислоты [80]. Исследования выполнены в лаборатории кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

2.4 Хемилюминесцентный анализ крови

Кинетика спонтанной и активированной генерации активных форм кислорода (АФК) регистрировалась хемилюминесцентным методом на 36-канальном аппаратурно-программном комплексе «Хемилюминометр 3604–ПЭВМ» (специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск).

Хемилюминесцентный анализ основан на реакции АФК со специфическими маркерами (усилителями хемилюминесценции) первичных (люцигенин) и вторичных (люминол) радикалов. Для хемилюминесцентной реакции использовалась гепаринизированная кровь в объеме 100 мкл разведенная, в 2 раза раствором Хенкса, 200 мкл хемилюминесцентного зонда, 50 мкл суспензии частиц латекса (для активации «in vitro») или раствора Хенкса (спонтанная хемилюминесценция). Для усиления хемилюминесценции в качестве ХЛ-зондов использованы растворы люцигенина в концентрации 0,1 ммоль/л (Sigma-Aldrich, Switzelend) и люминола – 0,22 ммоль/л (Sigma, USA) в растворе Хенкса (pH 7,4), обладающие выраженной селективностью в отношении первичных (супероксиданион) и вторичных (гидроксил, гипохлорит, перекись водорода) радикалов кислорода соответственно [287].

Время записи хемилюминесцентной кривой крови крупного рогатого скота составило 180 мин., овец – 90 мин. Температура в регистрационной камере +38ºС, соответствовала усредненной температуре тела крупного и

мелкого рогатого скота. Определялись основные параметры хемилюминесцентной кинетики генерации АФК: амплитуда максимальной активности (I_{max}, имп./с); время достижения максимума (T_{max}, мин); площадь под хемилюминесцентной кривой (S, имп. за 180 мин), характеризующая общий объем (светосумму) генерируемых активных форм кислорода (первичных и вторичных радикалов); индекс активации (ИА = $S_{акт}/S_{спонт}$, усл. ед.). Исследования выполнены в секторе иммунологии международного научного центра исследований экстремальных состояний организма ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

2.5 Интегральная оценка радиационной обстановки агробиоценозов

Интегральная оценка радиационной обстановки агробиоценозов проводилась согласно Р 52.18.787-2013 «Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки», путем расчета интегрального показателя радиационной обстановки агробиоценозов (ИПРОА).

Для каждого показателя ИПРОА из имеющегося набора средних значений по агробиоценозам ($\bar{X}i$), определялись минимальное ($\bar{X}i\ min$) и максимальное ($\bar{X}i\ max$) значения, где i – i-ты показатель ИПРОА.

Для каждого i-го показателя ИРОА по i-тому агробиоценозу рассчитывалось величина нормированного критерия по формуле: $g_i = \frac{(\bar{X}ij - \bar{X}i\ min)}{(\bar{X}\ i\ max - \bar{X}i\ min)}$

где: $\bar{X}ij$ – среднее значение i-го показателя для j-го агробиоценоза

Значение ИПРОА для j-го агробиоценоза определялось по формуле: ИПРОА$j = \frac{\sum J\ gij}{ni}$

где: ni – количество показателей ИПРОА в агробиоценозе.

2.6 Статистические методы

Статистическая обработка полученного цифрового материала проведена методами вариационной статистики и регрессионного анализа. Методами вариационной статистики – с использованием t-критерия Стьюдента и критерия Спирмена с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2013. Наряду с методами вариационной статистики использованы регрессионный анализ, корреляционный метод Спирмена и расчет критерия Чеддока. Различия цифровых данных считали достоверными при $P \leq 0,05$.

Количество проведенных исследований представлено в таблице 2.1.1

Таблица 2.1.1 – 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
Удельная активность ^{137}Cs в почвах	136	-	-	-	-	-	136
Удельная активность ^{60}Co в почвах	136	-	-	-	-	-	136
Удельная активность ^{152}Eu в почвах	136	-	-	-	-	-	136
Удельная активность ^{137}Cs в грубых кормах	-	45	-	-	-	-	45
Удельная активность ^{137}Cs в зеленых кормах	-	45	-	-	-	-	45

Удельная активность ^{137}Cs в молоке коровьем	-	-	45	-	-	-	45
Клинический осмотр животных	-	-	-	-	110	49	159
Оценка упитанности 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**

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Анализ эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края

Мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды на территории Красноярского края осуществляется следующими организациями:
- ФГБУ «Среднесибирское УГМС»;
- КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края»;
- радиоэкологический центр ФГУП «Горно-химический комбинат»;
- министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края;
- управление Россельхознадзора в Красноярском крае;
- управление Роспотребнадзора в Красноярском крае.

Мониторинг ФГБУ «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» осуществляется в соответствии со списками станций радиационного мониторинга Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и «Программой работ ФГБУ «Среднесибирское УГМС» по радиационному контролю в районе ФГУП «ГХК». В перечень исследований входит определение объемной активности радионуклидов в приземном слое атмосферы, определение радиоактивности атмосферных выпадений и определение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, определение концентрации в пресной воде техногенных радионуклидов.

Краевое государственное бюджетное управление (КГБУ) «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (ЦРМПиООС) проводит мониторинг состояния окружающей среды, естественных экологических систем, атмосферного воздуха, почвы, поверхностных вод и суши, радиационной и сейсмической

обстановки. Наблюдения за радиационной обстановкой проводятся посредством непрерывного автоматического измерения мощности МАЭД и объемной активности гамма-излучающих радионуклидов в воде. Измерение МАЭД осуществляется на 33 постах наблюдений в городах: Красноярск, Сосновоборск, Железногорск, Зеленогорск, Уяр, Лесосибирск, на территориях Березовского, Емельяновского, Дзержинского, Канского, Манского, Сухобузимского, Уярского районов Красноярского края, наибольшее количество постов сосредоточенно в Сухобузимском районе.

Радиоэкологический центр ФГУП «ГХК» осуществляет производственный контроль радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (ЗН) на ФГУП ГХК. Радиоэкологическим центром контролируется содержание радионуклидов в газо-аэрозольных выбросах предприятия, содержание радионуклидов в сточных водах на выпусках, содержание вредных химических веществ в сточных водах. Круглогодично определяется содержание радионуклидов в аэрозолях приземного слоя атмосферы и в атмосферных выпадениях. Ежемесячно определяется содержание радионуклидов и вредных химических веществ в воде р. Енисей, речках и ручьях в зоне возможного влияния предприятия. В зимний период контролируется концентрация радионуклидов в снежном покрове, в летний период определяется их содержание в верхнем почвенном слое. В осенне-летний период контролируется содержание радионуклидов в пищевых продуктах, производимых в 6 населенных пунктах, территориально принадлежащих 20-км ЗН. Определяется содержание радионуклидов и вредных химических веществ в подземных водах, в донных и аллювиальных отложениях, траве, пищевых продуктах и др. объектах природной среды, мощность дозы гамма-излучения [46-50]. С 1996 г. на ФГУП «ГКХ» действует автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО). АСКРО ГХК. Система используется для получения информации о радиационной обстановке и динамике ее изменения: в режиме штатной эксплуатации предприятия; в режиме выхода из штатной эксплуатации

(аварии); для оценки масштаба аварии, ввода в действие плана противоаварийных мероприятий, принятие мер по защите персонала и населения, а также для ведения работ по ликвидации последствий аварии. АСКРО ГХК входит в состав Единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (ЕГАСМРО). Система включает в себя стационарные посты мониторинга гамма-излучения, предназначенные для измерения МЭД, и информационно-управляющие центры. Посты контроля находятся на территории на удалении 4-28 км от основного источника выбросов с учетом размещения населенных пунктов. Перечень основных значений, контролируемых АСКРО: мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД), скорость и направление ветра. Система производит автоматическое измерение МЭД, метеоданных и их обработку в реальном времени; подачу тревожной сигнализации при обнаружении в постах контроля отклонений от заданных установок; оперативное представление данных на дисплее компьютера мониторинговой информации; подготовку полученных результатов для выходных документов, за установленные промежутки времени [57-60].

Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края осуществляет нормативное правовое регулирование и разработку проектов законов края, правовых актов губернатора края и Правительства края в области охраны окружающей среды, обеспечения радиационной безопасности. Оказывает государственные услуги; управляет и распоряжается государственной собственностью в областях охраны окружающей среды, обеспечения радиационной безопасности; выполняет надзор в области охраны окружающей среды, обеспечения радиационной безопасности.

Управление Россельхознадзора осуществляет государственный ветеринарный надзор в области обеспечения качества и безопасности зерна, крупы, комбикормов и компонентов для их производства, побочных продуктов переработки зерна. Проводит оценку радиационной безопасности почв агробиоценозов. Осуществляет контроль радиационной безопасности

продукции животноводства и растениеводства, произведенной на территории края. В настоящее время ветеринарный надзор за безопасностью продукции животного происхождения при транспортировке организован на крупных железнодорожных станциях, грузовых контейнерных дворах, в Красноярском речном порту, морском порту города Дудинка, аэропортах.

Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный центр агрохимической службы «Красноярский» (ФГБУ ГЦАС «Красноярский») проводит ежегодный контроль удельной активности антропогенных радионуклидов (^{137}Cs, ^{90}Sr) в почвах на 16 реперных участках, расположенных в Березовском, Пировском, Назаровском, Козульском, Боготольском, Балахтинском, Большемуртинском, Емельяновском, Манском и Ужурском районах Красноярского края. По данным ФГБУ ГЦАС «Красноярский» за период с 2010 по 2021 г. превышений предельно допустимых уровней активности ^{137}Cs, ^{90}Sr на реперных участках не зафиксировано.

Краевое государственное казенное учреждение «Краевая ветеринарная лаборатория» (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 удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в сене, соломе, сенаже, кормовых смесях, мясе крупного рогатого скота и молоке коровьем. Из официального ответа КГКУ «Краевая ветеринарная лаборатория» следует что за период 2010 по 2021 год превышения удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в контролируемых объектах зарегистрировано не было.

Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю проводит радиационно-гигиенический мониторинг окружающей среды на всей

территории края. Проводит оценку состояния радиационной безопасности окружающей среды, объектов производства и потребления, среды обитания.

3.1.1 Радиационная обстановка на территории Красноярского края

Оценка состояния радиоактивного загрязнения агробиоценозов приведена на основе пятилетних данных организаций: ФГБУ «Среднесибирское УГМС» и управления Роспотребнадзора по Красноярскому, ФГУП «ГХК».

Ежегодно на всей территории края с целью контроля радиационной обстановки выполняется радиационно-гигиенический мониторинг, проводится оценка состояния радиационной безопасности объектов окружающей среды, среды обитания человека, объектов производства и потребления (табл. 3.1.1) [56-60].

Таблица 3.1.1 – Динамика исследований проб

Объект исследования	Количество исследованных проб				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Почва	713	777	140	306	192
Пищевые продукты	152	248	48	151	49
Вода источников питьевая	499	603	418	444	434

В пробах почво-грунтов с территории Сухобузимского района в 2018 г и 2019г фиксировали значительные величины удельной активности ^{137}Cs (2018 г. – 510 Бк/кг, 2019г. – 1149 Бк/кг) и ^{90}Sr (2018г – 36,7 Бк/кг, 2019г.– 5 Бк/кг), участки с высокой удельной активностью техногенных радионуклидов территориально принадлежали береговой полосе реки Енисей, в 20-км ЗН ФГУП «ГХК». В 2020 г значительные показатели удельной активности ^{137}Cs (34 Бк/кг) установлены в пробах почво-грунтов аграрного ландшафта с. Казачинское Казачинского района. В 2021 г. значительные показатели

удельной активности ^{137}Cs (9,0 Бк/кг) были зафиксированы в почво-грунтах аграрных ландшафтов: с. Верхнепашино (Енисейский район), с. Знаменка (Минусинский район), г. Ужура (Ужурский район). В 2022 г. значительные показатели удельной активности ^{137}Cs цезия-137 (5 Бк/кг) выявлены в пробах почво-грунтов, отобранных в границах г. Енисейска, по удельной активности ^{90}Sr (24,91 Бк/кг) выделялись пробы почвы Сухобузимского района [60].

За анализируемый период во всех пробах пищевых продуктов удельная активность антропогенных радионуклидов не превышала предельных концентраций, установленных нормативными документами [177, 178].

На территории края по данным за 2022г. насчитывалось 1 523 источника централизованного и 874 источника нецентрализованного водоснабжения. В период с 2018 г. по 2022 г. оценена суммарная α β- активность воды в 27-40% источниках централизованного и 0,5-2,9% нецентрализованного водоснабжения [60].

За период 2018-2022г. относительное количество проб воды из источников централизованного водоснабжения с превышением контрольных уровней по общей альфа-активности составляла: 2018г. – 9,2%; 2019 г. – 9,6 %; 2020г. – 15,8%; 2021г. – 15,1 %; 2022г. – 15,7%. По суммарной бета-активности за период с 2019 по 2022 превышений не зафиксировано за исключением 2020г. превышение КУ в этом году по β- активности составило 1% [56-60].

За анализируемый период проведено определение удельной активности природных радионуклидов в воде водоисточников: 2018г. – 18,7%; 2019г. – 22,9%; 2020г. – 21,6%; 2021г. – 21,6%; 2022г. – 21,1% от общего числа. Относительное количество проб воды с превышением уровней вмешательства по удельной активности ^{222}Rn составила: 2018г. – 6,9%; 2019г. – 13,4 %; 2020г. – 0%; 2021г. – 7,9%; 2022г. – 6,5%. Превышение контрольных уровней по суммарной альфа- активности в воде нецентрализованного питьевого водоснабжения установлено в 2018г. – 7,7% 2019г. – 0,8% проб от общего количества исследованных. За весь рассматриваемый период проб не установлены пробы воды, в которых выявлено превышение УВ по ^{222}Rn и с

удельной активностью ЕРН и ТРН, для которых должно выполняться условие Σ(Ai/УВi)>10 [56-60].

Мощность амбиентного эквивалента экспозиционной дозы гамма-излучения (МАЭД) в 2018-2022г контролировалась в 43-50 пунктах на высоте 100 см. от поверхности почвы. Согласно данным ФГБУ «Среднесибирское УГМС» в 2020-2022 г. [56-60]. Мощность амбиентного эквивалента экспозиционной дозы гамма-излучения находилась в пределах 0,07-0,21 мкЗв/ч, полученные значения МАЭД принадлежали диапазону изменений естественного гамма-фона и не превышали установленного показателя – 0,30 мкЗв/ч [179].

3.1.2 Радиационная обстановка в ФГУП «ГХК»

Среднегодовые и максимальные значения мощности амбиентного эквивалента экспозиционной дозы гамма-излучения за анализируемый период приведены в таблице 3.1.2 [56-60].

Таблица 3.1.2 – Средние значения МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч

Населенный пункт	2018г.	2019г.	2020г.	2021г.	2022г.
с. Атаманово	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
с. Сухобузимское	0,13	0,13	0,11	0,15	0,12
д. Шивера	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
г. Железногорск	0,14	0,14	0,14	0,14	0,10
с. Б. Балчуг	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12

На основании данных радиационного мониторинга можно заключить, что в г. Железногорске и аграрных ландшафтах, 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 превышало рекомендуемый уровень

уставленный ОСПОРБ-99/2010. Полученные значения МАЭД соответствовали уровню естественного фона Красноярского края.

В приземном слое атмосферы в границах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ФГУП «ГХК» фиксировались антропогенные радионуклиды: ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am, таблица 3.1.3 [56-60]. В период с 2018г. по 2022г. не установлено превышение объёмной активности техногенных радионуклидов согласно допустимым уровням, установленным НРБ-99/2009.

Таблица 3.1.3 – Удельная активность антропогенных радионуклидов в воздухе в санитарно-защитной зоне ФГУП «ГХК»

Изотоп	Норма[2] Бк/м^3	Среднегодовая объемная активность, Бк/м3				
		2018г.	2019г.	2020г.	2021г.	2022г.
^{60}Co	70	н.д.	$<3,0\times10^{-7}$	$<1,0\times10^{-7}$	$<1,0\times10^{-7}$	$<2,0\times10^{-7}$
^{90}Sr	13,3	$<2,0\times10^{-5}$	$<2,0\times10^{-5}$	$<2,0\times10^{-5}$	$<2,0\times10^{-5}$	$<2,0\times10^{-5}$
^{137}Cs	425	$1,6\times10^{-6}$	$2,2\times10^{-6}$	$4,4\times10^{-6}$	$4,4\times10^{-6}$	$1,5\times10^{-6}$
^{238}Pu	0,0093	48×10^{-6}	66×10^{-6}	$2,5\times10^{-6}$	$2,5\times10^{-6}$	$7,8\times10^{-6}$
$^{239+240}Pu$	0,008	$2,3\times10^{-6}$	$2,3\times10^{-6}$	$1,4\times10^{-6}$	$1,35\times10^{-6}$	$5,4\times10^{-6}$
^{241}Am	0,053	н.д.	н.д.	$<2,0\times10^{-6}$	$<2,0\times10^{-6}$	$<2,0\times10^{-6}$

н.д. – нет данных

С 2018 года в приземном слое атмосферы г. Железногорске и аграрном ландшафте с. Б. Балчуг (ближайший населенный пункт к ФГУП «ГХК») регистрировали присутствие антропогенных радионуклидов: ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am (табл.3.1.4). Благодаря поступлению антропогенных изотопов аэрогенным путем индивидуальная эффективная доза для жителей г. Железногорска и аграрного ландшафта с. Б. Балчуг за анализируемый период изменялась от <1,57 до < 4,2 мкЗв/год, что составляло от 0,16% до 0,42% от

[2] СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы

предела дозы, установленной СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы для населения [179].

В период с 2018 по 2022 год не зафиксировано влияние газо-аэрозольных выбросов ФГУП «ГХК» на фоне глобального техногенного радиоактивного загрязнения [56-60].

Таблица 3.1.4 – Удельная активность антропогенных радионуклидов в воздухе

Радио-нуклид	Норма Бк/м^3 [179]	Среднегодовая объемная активность, Бк/м3				
		2018г.	2019г.	2020г.	2021г.	2022г.
^{60}Co	11	н.д.	<3,0×10^{-7}	8,6×10^{-7}	8,6×10^{-7}	<0,3×10^{-6}
^{90}Sr	2,7	<2,0×10^{-5}	<2,0×10^{-5}	<2,0×10^{-5}	<2,0×10^{-5}	<2,0×10^{-5}
^{137}Cs	27	0,9×10^{-6}	1,7×10^{-6}	1,7×10^{-6}	1,7×10^{-6}	1,3×10^{-6}
^{238}Pu	0,0027	2,3×10^{-6}	2,9×10^{-6}	6,1×10^{-6}	6,1×10^{-6}	1,8×10^{-6}
$^{239+240}$Pu	0,0025	1,2×10^{-6}	1,2×10^{-6}	3,0×10^{-6}	3,0×10^{-6}	1,5×10^{-6}
^{241}Am	0,0029	н.д.	н.д.	<2,0×10^{-6}	<2,0×10^{-6}	<2,0×10^{-6}

н.д. – нет данных

За анализируемый период эффективная доза внешнего облучения от загрязнения почвы составила: 2019 г. – 6,5 мкЗв/год, 2020г. – 4,5 мкЗв/год, 2021г. – 3,2 мкЗв/год, 2022г. – 8,5 мкЗв/год, что составило: 0,65%; 0,45%; 0,32% и 0,85% соответственно от предела дозы, установленного НРБ-99/2009 для населения [179].

Индивидуальная эффективная доза для жителей за счет использования в пищу продуктов местного производства (мясо, молоко, овощи, корнеклубнеплоды) за рассматриваемый период составила: 2018г. – 16,5 мкЗв/год; 2019г. – 14,8 мкЗв/год; 2020г. – 12 мкЗв/год; 2021г. – 15 мкЗв/год; 2022г. – 14,6 мкЗв/год что являлось 1,7%; 1,5%; 1,2%; 1,5%; 1,5% от предела

дозы, установленной СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы для населения [179].

Таким образом, за анализируемый период годовая эффективная доза за счет внутреннего и внешнего облучения, получаемая населением Красноярского края, составила: 2018г. – менее 22,9 мкЗв; 2019г. – менее 23,0 мкЗв/год; 2020г. – менее 22,4мкЗв/год; 2021г. – менее 22,4 мкЗв/год; 2022г. – менее 25,1 мкЗв/год или менее 2,3%; 2,3%; 2,2%; 2,2%; 2,5% соответственно году от допустимого дозового предела регламентированного СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы для населения [179].

Показатели МАЭД на автоматизированных постах радиационного контроля, находящихся в радиусе 100 км от ФГУП «ГХК» (ЗАТО г. Железногорск), в районе АО «Производственное объединение «Электрохимический завод» (ЗАТО г. Зеленогорск), за рассматривай период не изменялось [56-60].

Наибольшие среднегодовые значения МАЭД в 2018г. зарегистрированы в г. Красноярск в центральном районе и в микрорайоне Солнечный, в поселке городского типа Емельяново – 0,16 мкЗв/ч.; г. Дивногорск – 0,18 мкЗв/ч; аграрных ландшафтах поселков: Памяти 13 Борцов – 0,17 мкЗв/ч, Никольское – 0,20 мкЗв/ч. В 2019 увеличение МАДЭ определено в г. Уяр – 0,22 мкЗв/ч, поселке городского типа Емельяново в аграрных ландшафтах сел: Атаманово, Частоостровское, Никольское – 0,20 мкЗв/ч. В 2020 увеличение МАЭД зафиксировано в г. Уяр, с. Сухобузимское – 0,22 мкЗв/ч; ЗАТО г. Зеленогорск– 0,21 мкЗв/ч, пгт Емельяново и агробиоценозах сел Атаманово, Частоостровское и Никольское – 0,20 мкЗв/ч. В 2021 г наибольшие показатели МАЭД выявлено в г. Уяр, с. Сухобузимское – 0,22 мкЗв/ч, ЗАТО г. Зеленогорск – 0,21 мкЗв/ч, агробиоценозах с. Никольское и д. Татарская – 0,20 мкЗв/ч. В 2022 году высокие среднегодовые значения МАЭД зафиксированны в пгт Емельяново – 0,20 мкЗв/ч, с. Атаманово – 0,21 мкЗв/ч, с. Частоостровское – 0,20 мкЗв/ч, г. Уяр – 0,23 мкЗв/ч, ЗАТО г. Зеленогорск «п. Октябрьский» –

0,22 мкЗв/ч, п. Первоманск – 0,20 мкЗв/ч, с. Сухобузимское – 0,21 мкЗв/ч, д. Татарская – 0,22 мкЗв/ч, с. Есаулово – 0,21 мкЗв/ч [56-60].

Сброс техногенных радионуклидов в р. Енисей не был больше установленных Министерством природы России норм сброса и составлял: 2018 г. ^{134}Cs – 0,005 % и ^{137}Cs до 2,5 %; в 2019г. ^{134}Cs – 0,004 % и ^{137}Cs – 5,4 %; в 2020 г. ^{60}Co – 0,02 % и $^{239+240}$Pu – 1,93 %; в 2021г. ^{134}Cs 0,00007 % и ^{238}Pu – 38,7 %; в 2022г. ^{60}Co – 0,004 % и $^{239+240}$Pu – 43,5 % от установленных нормативов допустимого сброса. Концентрация техногенных радионуклидов в воде р. Енисей на расстоянии в 1 км выше с. Б. Балчуг, таблица 3.1.5 [56-60].

Среднегодовые значения удельной активности антропогенных радионуклидов в воде р. Енисей за анализируемый период не превышали норм, регламентированных СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы для населения [179]. Воздействие сбросов техногенных радионуклидов на увеличение степени радиоактивного загрязнения донных отложений поймы реки не установлено.

Таблица 3.1.5 – Содержание антропогенных радионуклидов в р. Енисей в пределах зоны наблюдения ФГУП «ГХК»

Изотоп	Среднегодовая объемная активность, Бк/м3				
	2018г.	2019г.	2020г.	2021г.	2022г.
^{60}Co	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$
^{90}Sr	$3,1\times10^{-3}$	$3,7\times10^{-3}$	$2,3\times10^{-3}$	$2,3\times10^{-3}$	$2,2\times10^{-3}$
^{137}Cs	$1,7\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$
^{238}Pu	$<5,0\times10^{-4}$	$<2,0\times10^{-4}$	$<5,7\times10^{-4}$	$<5,7\times10^{-4}$	$4,5\times10^{-4}$
$^{239+240}$Pu	$<1,0\times10^{-3}$	$<2,0\times10^{-3}$	$<1,0\times10^{-3}$	$<1,0\times10^{-3}$	$<1,0\times10^{-3}$

Донные отложения загрязнены в долгоживущими радионуклидами: ^{60}Co, ^{137}Cs и ^{152}Eu благодаря поступлению этих радионуклидов в прошлые годы. Максимальные концентрации антропогенных радионуклидов в донных

отложениях р . Енисей находятся по правому берегу на участке от точки сброса ФГУП «ГХК» до 28 км ниже по течению. За анализируемый период удельная активность донных отложений на вышеобозначенном, участке составляла: 2018г. – 0,7 кБк/кг; 2019г. – 0,34 кБк/кг, 2020г. – 4,3 кБк/кг; 2021г. – 4,3 кБк/кг. На участке р. Енисей ниже впадения р. Кан по руслу содержание суммы техногенных радионуклидов в донных отложениях составляло не более: 2018г. – 0,12кБк/кг; 2019г. – 0,34кБк/кг; 2020г. – 0,03 кБк/кг; 2021 г. – 0,03 кБк/кг.

3.1.3 Радиационная обстановка в ФГУП полигона «Северный»

Полигон «Северный» размещен в 60 км от г. Красноярска, ближайшие населенные объекты на правом берегу р. Енисей это г. Железногорск (18 км на юго-запад) и с. Большой Балчуг (6 км на север). На левом берегу р. Енисей с. Атаманово (6 км на юго-запад) и п. Шивера (15 км на юго-запад).

Пункт глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов полигон «Северный» – это комплекс сооружений, рассчитанный для глубинной изоляции жидких радиоактивных отходов, относящихся к V классу опасности. Изоляция достигается благодаря контролируемой подачи жидких радиоактивных отходов через структуру нагнетательных скважин в эксплуатационные горизонты с застойным характером водообмена, перекрытые водонепроницаемыми породами.

Радиационная обстановка на объектах полигона «Северный»: среднегодовая объемная активность радионуклидов в воздухе и удельная активность радионуклидов в воде открытых водных объектов в санитарно-защитной зоне представлены в таблице 3.1.6.

За исследуемый период по результатам гамма-каротажа в скважинах, предназначенных для радиационного мониторинга, не фиксировались отклонений гамма-излучения в водоупорных горизонтах. За период рассматриваемый период 2018-2022 гг. аварийных ситуаций и технологических нарушений не зафиксировано [56-60].

Таблица 3.1.6 – Удельная активность радионуклидов в атмосферном воздухе

Год исследования	Объемная активность, $\times 10^{-6}$ Бк/м^3			
	^{90}Sr,	^{137}Cs,	общая α-активность	общая β-активность
2018	0,90±0,4	1,6±0,5	120±30	690±190
2019	<20	2,2±0,8	100±60	620±250
2020	н.д	1,6±0,5	120±60	480±210
2021	н.д.	3,2±1,1	110±50	360±170
2022	±	1,2±0,5	120±50	350±160

Допустимая среднегодовая объёмная активность: ^{137}Cs – 27 Бк/м^3, ^{90}Sr – 2,7 Бк/м^3

3.1.4 Радиационная обстановка в АО «ПО ЭХЗ»

Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод» (АО «ПО ЭХЗ») расположен на территории ЗАТО г. Зеленогорск в 150 км на восток от г. Красноярска. Организация находится на берегу р. Кан в северо-западном направлении в 2,5 км от жилой зоны г. Зеленогорска.

АО «ПО ЭХЗ» – предприятие по обогащению урана, находится в составе топливной компании Росатома «ТВЭЛ». Предприятие с 1962 г. производило высокообогащенный уран, с 1972 г. организовано производство изотопной продукции, с 1988 г. основным видом выпускаемой продукции АО «ПО ЭХЗ» являлся низкообогащенный ^{235}U, необходимый для производства топлива атомных электростанций.

Выброс радиоактивных веществ предприятия за анализируемый период: в 2018 г. – 74,58×10^6 Бк; в 2019 г. – 71,4×10^6 Бк; в 2020 г.– 40,7×10^6 Бк; в 2021г. – 99,06×10^6; в 2022г. – 113×10^6 Бк что составляло 0,16%, 0,16%, 0,09% 0,58%, 0,67% от предельно допустимого выброса, установленного разрешением на

выброс радионуклидов в атмосферный воздух, согласно документации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору соответственно году. В 2021г. и 2022г. увеличение выбросов АО «ПО ЭХЗ» техногенных радионуклидов объясняется введением в промышленную эксплуатацию дополнительных технологических мощностей.

АО «ПО ЭХЗ» не имеет сбросов техногенных радиоактивных веществ в водные объекты. Содержание радионуклидов: ^{238}U, ^{235}U, ^{234}U в сбросной воде находился на уровне фона в р. Енисей и не превышает санитарно-гигиенического норматива 0,2 Бк/кг [179].

Радиационная обстановка в Красноярском крае характеризовалась рядом особенностей, к числу которых относились:

- радиоактивное загрязнение поймы р. Енисей в границах ЗН ФГУП «ГХК», обусловленное многолетней деятельностью предприятия;
- наличие на территории края восьми участков подземных ядерных взрывов;
- большое количество природных радиоактивных аномалий и рудопроявлений урана, обусловленное высокой в сравнении с кларком, концентрацией урана в породах, слагающих литосферные горизонты края; наличие значительного количества глубинных разломов литосферы, способствующих появлению радиоактивного газа – радона (^{222}Rn) в верхних слоях и на поверхности почвы.

ЗН ФГУП «ГХК» включает территорию с радиусом 20 километров вокруг места расположения основного источника газо-аэрозольных выбросов и 1000 километров поймы р. Енисей вниз по течению реки от места сброса сточных вод комбината. В 20-километровой части ЗН ФГУП «ГХК» расположено 13 сельских населенных пунктов, в которых проживает 7 399 человек, г. Железногорск с населением 87 990 человек. На берегах р. Енисей в границах 1000 км ЗН расположены более 30 населенных пунктов, в том числе г. Енисейск и г. Лесосибирск.

В 20-километровой ЗН ФГУП «ГХК» дополнительное техногенное радиоактивное загрязнение соизмеримо с уровнем глобальных техногенных выпадений и фиксируется всего лишь по увеличенным показателям удельной активности ^{239}Pu и ^{137}Cs в почвах подветренного сектора [60].

В границах 1000-километровой части ЗН ФГУП «ГХК» в пойме р. Енисей имеются многочисленные участки аккумуляции техногенных радионуклидов, присутствовавших в нормативных и аварийных сбросах реакторного и радиохимического заводов предприятия в результате его предыдущей деятельности. В настоящее время потенциальными источниками техногенного радиоактивного загрязнения поймы р. Енисей являются процессы размыва и переотложения многолетних осадков, а также процессы фильтрации и дренирования, проходящие в местах расположения прудов-отстойников и подземных хранилищ предприятий ядерно-топливного цикла.

Изучение радиационной обстановки в пойменной части ЗН ФГУП «ГХК» осуществлялось с конца прошлого века. В соответствии с подпрограммой "Обеспечение радиационной безопасности населения края и улучшение социально-экономических условий его проживания" Государственной программы Красноярского края "Охрана окружающей среды, воспроизводство природных ресурсов" постановление правительства Красноярского края от 26 октября 2021 г. N 769-п. Пойменная часть ЗН ФГУП «ГХК» разделена на три подзоны: ближняя (от места сброса до устья р. Ангара), средняя (устье р. Ангара до устья р. Подкаменная Тунгуска) и дальняя (устье р. Подкаменная Тунгуска до с. Верхнеимбатск). В границах трех подзон выделено 76 загрязненных участков, значительная часть которых из которых расположены за пределами населенных пунктов. За исключением радиоактивного загрязнения береговой полосы г. Енисейска (о. Городской), эта радиоактивная техногенная аномалия тщательно рассмотрена и очерчена. Результаты работы доказывают пятнистый характер техногенного радиоактивного загрязнения поймы р. Енисей.

В начале 2000 г в с. Атаманово Сухобузимского района Красноярского края в жилых домах выявлены экстремально высокие объемные активности радона (Rn). В 2021 г. на основании результатов социально-гигиенического мониторинга в с. Атаманово в жилых и общественных зданиях не выявлено превышения гигиенического норматива ЭРОА радона в воздухе (200 Бк/м^3).

К значимым природным радиационным аномалиям края относится площадка бывшего обогатительного производства по переработке монацитовой руды территориально находящаяся в пойме реки Тарака, в Канском районе Красноярского края на удалении 0,2 км от границы жилой зоны п. Таежный. Радиационная обстановка на территории заброшенного отвала обогатительной фабрики является неудовлетворительной, но не оказывающей значимого радиационного влияния на население, в связи с этим отсутствует необходимость рекультивации данной территории.

На территории дражного отвала, образованного при разработке монацитовых россыпей и расположенного в устье ручья «Ключ Глубокий» в зоне рекреации п. Таежный, радиационная обстановка оценивается как удовлетворительная, на этой территории не происходит переоблучение населения, соответственно отсутствует необходимость вмешательства с целью ее улучшения с учетом принципа оптимизации. На территории п. Таежный радиационная обстановка оценивалась как удовлетворительная, по результатам социально-гигиенического мониторинга на селитебной территории и в жилых помещениях п. Таежный ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» выявлено, что основной вклад в формирование суммарной дозы облучения населения поселка вносит радон и его дочерние продукты распада, принято решение продолжить мониторинг с проведением измерений в течение года (экспертное заключение ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» от 09.09.2014 № 4792). Материалы дражных отвалов можно использовать в строительных и хозяйственных целях только при наличии экспертного заключения о

соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам по радиационным показателям.

На территории края имеются восемь объектов подземных ядерных взрывов, проведенных в мирных целях в 70-80-х годах двадцатого века: Горизонт-3, Метеорит-2 (Таймырский муниципальный район); Кратон-2, Рифт-4 (Туруханский муниципальный район); Батолит-1, Кимберлит-3, Метеорит-3, Шпат-2 (Эвенкийский муниципальный район). По результатам проведенных в 2010-2012 гг. исследований радиоэкологическая обстановка на этих территориях оценивается как благополучная. Негативное влияние мирных ядерных взрывов на человека и окружающую среду отсутствует.

На основании выше переведенных данных радиационную обстановку в Красноярском крае на протяжении последних лет можно охарактеризовать как стабильную. На большей части края радиационная обстановка благополучная, ежегодно исключение составляет зона наблюдения ФГУП «ГХК»

На основании данных отчета по радиоэкологической обстановке в регионах размещения предприятий Росатома [74], а также объективной оценке специалистов по радиоактивному загрязнению Среднего Енисея [60, 62], к особенностям радиационной обстановки Красноярского края относится локальное загрязнение поймы р. Енисей антропогенными радионуклидами, созданное в прошлом веке долговременными сбросами вод охлаждения проточных реакторов ФГУП «ГХК». Возможность техногенного радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате деятельности предприятий Госкорпорации Росатом, находящихся в г. Красноярск, г. Зеленогорск. Существование с прошлого века на территории Эвенкийского и Таймырского автономных округов участков девяти мирных подземных ядерных взрывов.

В главной мере влияние на радиационную обстановку в Красноярском крае, обусловленную антропогенными радионуклидами, оказывает именно ФГУП «Горно-химический комбинат».

Согласно данным научно-исследовательской работы Бурякова А.А., Григорьева А.И. и других [30, 62] по определению текущей радиационной обстановки на р. Енисей на территории от г. Красноярска до г. Игарки выявлено, что техногенное радиоактивное загрязнение поймы определяется на протяжении 2 000 км от места сброса вод охлаждения проточных реакторов ФГУП «ГХК» до устья р. Енисей в Карском море. На этом участке реки релятивно выделены три подзоны: ближняя (от с. Атаманово до устья р. Кан), средняя (от устья р. Кан до с. Ярцево) и дальняя (от с. Ярцево до устья р. Енисей). В границах ближней и средней подзоны установлены более 150 мест с аномально высоким уровнем антропогенного радиоактивного загрязнения. К главным техногенными изотопами, формирующим радиационное загрязнение пойменных почв и донных отложений р. Енисей , относят: ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{152,154}Eu, ^{239,240}Pu. Максимальные значения ^{137}Cs в речных отложениях в ближней подзоне составляют 260-1500 кБк/м^2, в средней подзоне 110-370 кБк/м^2, в дальней удельная активность ^{137}Cs уменьшается до 3,7 кБк/м^2 и менее.

Большинство антропогенно-загрязнённых участков находятся за пределами населённых пунктов. Исключение составляет техногенное загрязнение береговой полосы сел Большой Балчуг и г. Енисейск. В речных отложениях береговой полосы г. Енисейска удельная активность ^{137}Cs составляла 7110 Бк/м^2 (455-11673 Бк/кг), а концентрация ^{239,240}Pu до 3055 кБк/м^2, что позволяет эти донные отложения квалифицировать как слаборадиоактивные отходы.

Раннее установлено, что большинство выявленных антропогенно-загрязнённых участков не идентифицируются, это объясняется тем, что радиоактивное загрязнение после остановки в 1992 г. проточных реакторов ФГУП «ГКХ» подверглись частичному размытию, переотложению, перекрытью молодыми слаборадиоактивными осадками. На левом берегу реки установлены шесть участков антропогенного радиоактивного загрязнения пойменных отложений, включающих локальные аномалии и аномалии с достаточной протяженностью, на правом берегу реки идентифицировано

одиннадцать техногенно-загрязненных участка. Как сказано выше они объединяются в четыре зоны антропогенного радиоактивного загрязнения. В границах этих зон которых находятся крупные сельские поселения и сенокосно-пастбищные, ферменные биогеоценозы. Участки техногенного загрязнения создают угрозу дополнительного антропогенного облучения населения и являются источником вторичного загрязнения поймы р. Енисей. Однако годовые эффективные дозы облучения населения этих населенных пунктов не превышают предела, равного 1 мЗв/год [56-60].

По результатам многолетних удельная активность ^{137}Cs в почвах Красноярского края в среднем составляет – 9,9 Бк/кг (2,5-37 Бк/кг) что не превышает значений глобального техногенного загрязнения РФ. Вне зоны наблюдения ФГУП «ГХК» удельная активность изотопов $^{238, 239, 240}Pu$, в почвах среднем составляет – 0,48 Бк/кг (0,10-0,89 Бк/кг).

Таким образом основании вышеизложенного можно заключить, что в большей территории Красноярском крае радиационная обстановка характеризуется как благополучная. Однако на территории края имеются отдельные территории с повышенной техногенной радиационной опасностью, обусловленной присутствием антропогенных радионуклидов компонентах окружающей среды. К территориям с дополнительной техногенной нагрузкой можно отнести ограниченные участки по пойме р. Енисей в Сухобузимском, Енисейском, Казачинском районах.

Дополнительное антропогенное радиоактивное загрязнение может оказать значительное воздействие на радиоэкологический статус аграрных ландшафтов, расположенных на этой территории. Аграрные ландшафты за пределами локального техногенного загрязнения имеют только глобальное антропогенное загрязнение, в связи с этим их радиоэкологический статус оценивается как удовлетворительный.

3.2 Эколого-радиоэкологическое обследование аграрных ландшафтов центральных районов Красноярского края

3.2.1 Радиоэкологическое тестирование почв

Агрохимические показатели почв сенокосно-пастбищных биогеоценозов контрольного и опытных аграрных ландшафтов отражена в таблице 3.2.1. Значения pH, гумуса и кальция в почвах тестируемых сенокосно-пастбищных агробиоценозов агарных ландшафтов с разной техногенной нагрузкой находились в одном диапазоне изменчивости, в среднем имели значения: pH – 6,83±0,25, гумус – 5,44 ±0,76%, кальций – 9437,5±815,63мг/кг и соответствовали многолетним данным Бекетова А.Д., Танделова Ю.П. [26, 194].

Таблица 3.2.1 – Агрохимическая характеристика почв аграрных ландшафтов

Показатели	Аграрные ландшафты		
	контрольный (n=10)	1 опытный (n=10)	2 опытный (n=10)
pH	6,83±0,11	6,60±0,12	7,07±0,18
Гумус, %	6,89±1,62	5,71±0,10	3,72±0,61
Кальций, мг/кг	9730,50±1043,83	7323,00±557,88	11134,30±352,94
Калий валовый, мг/кг	7983,23±282,55	6071,53±133,69	5044,30±232,80
Калий подвижный, мг/кг	76,30±4,82	103,84±12,11	99,09±13,66
Фосфор валовый, мг/кг	600,20±19,39	539,94±24,36	561,19±39,82
Фосфор подвижный, мг/кг	95,60±11,07	147,82±14,27	117,57±11,25

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

На основании выше приведенных результатов можно ожидать

идентичной миграционной активности Cs в тестируемых почвах. Концентрация валового и подвижного калия и фосфора во всех пробах статистический одинаковая.

Почвы агробиоценозов тестируемых аграрных ландшафтов относились к одному типу и обладали близкими агрохимическим характеристиками: pH, механический состав; концентрация гумуса; содержание кальция, валового и подвижного калия и фосфора. Соответственно ожидалась схожая миграционная активность ^{137}Cs в звене «почва – корма» и равнозначное накопление ^{137}Cs в верхнем 20-сантиметровом слое почвы, одинаковая вертикальная миграционная активность по профилю почвы.

Значения гамма-фона для сенокосно-пастбищных агробиоценозов полученные в результате радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов, отражены в таблице 3.2.2. Мощность дозы на поверхности почвы сенокосно-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта находилось в диапазоне 8-14 нЗв/ч, тогда как мощность дозы в опытных аграрных ландшафтах приходилось на диапазон 10-35 нЗв/час.

Таблица 3.2.2 – Мощность внешнего гамма-излучения на сенокосно-пастбищных биогеоценозах

Показатели	Аграрный ландшафт		
	контрольный	1 опытный	2 опытный
Площадь гамма-съемки, га	1500	0,25	0,26
Количество точек гамма-съемки	469	238	224
Диапазон изменчивости, нЗв/ч	8…14	10…35	10…34
Среднее значение, нЗв/ч	10,48 ± 0,06	18,89 ± 0,42***	17,1 ± 0,42***

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

Максимальные значения мощность дозы опытных ландшафтов превышали данные, полученные в контроле и средние значения мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения по Красноярскому краю, который составляет – 8 нЗв/час (4-13 нЗв/час) [21].

Среднее значение гамма-фона во всех аграрных ландшафтах находится в диапазоне значений, характерных для территории Красноярского края. Это указывает на то, что по уровню гамма-фона сенокосно-пастбищные биогеоценозы опытных аграрных ландшафтов не относятся к аномальным участкам. Однако значения гамма-фона в 1-ом опытном в 1,8 раза (рисунок 3.2.1), во 2-ом опытном в 1,6 раза (рисунок 3.2.2) выше, чем в контрольном аграрном ландшафте (P<0,001).

Рисунок 3.2.1 – Мощность гамма-фона пастбищного агробиоценоз 1-го опытного аграрного ландшафта

Рисунок 3.2.2 – Мощность гамма-фона пастбищного агробиоценоз 2-го опытного аграрного ландшафта

В результате радиоэкологического исследования сенокосно-пастбищных агробиоценозов установлено наличие дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв опытных аграрных ландшафтов (табл. 3.2.3). Почвы контрольного ландшафта имели только глобальное техногенное загрязнение. Почвы первого опытного ландшафта характеризовались удельной активностью ^{60}Co в значениях глобального антропогенного загрязнения, почвы этого ландшафта отягощены ^{152}Eu. В почвах второго опытного ландшафта выявлены значительные концентрации ^{60}Co и ^{152}Eu.

Удельная активность ^{60}Co в почвах второго опытного аграрного ландшафта в 7,4 раза превышала значение по контрольному ландшафту ($P<0,001$). Удельная активность ^{60}Co в почвах первого опытного ландшафта не отличалась от значений контроля, что свидетельствовало о наличии только глобального загрязнения ^{60}Co почв этой территории.

Удельная активность ^{152}Eu в почвах первого опытного ландшафта в 3 раза, а второго опытного в 21,6 раз выше, чем в контрольном ландшафте

(P<0,001). Что подтверждает гипотезу о наличии дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв отдельных аграрных ландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

Таблица 3.2.3 – Техногенное загрязнение целинных почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов аграрных ландшафтов.

Показатели	Аграрные ландшафты		
	контрольный	1 опытный	2 опытный
количество проб	57	30	49
диапазон изменчивости УА ^{137}Cs, Бк/кг	3,4…12,5	14,1…986,0[3]	5,0…433,0[4)]
УА ^{137}Cs, Бк/кг	6,43±1,92	284,17±36,30***	120,81±18,66***
диапазон изменчивости УА ^{60}Co, 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 изменчивости УА ^{152}Eu, 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***

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

Удельная активность ^{137}Cs в целинных почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов с 1-го опытного ландшафта в 19 раз 2-го опытного ландшафта в 8 раз превышает содержание ^{137}Cs в почвах контрольного аграрного ландшафта (P<0,001). Значение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта входило в диапазон средних значений, характерный для центральных районов Красноярского края – 1,2-38,1 Бк/кг [22]. Значение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов опытных аграрных

[3] Величина 986,0 Бк/кг не учитывалась в расчетах на основании единичного
[4] Величина 433,0 Бк/кг не учитывалась в расчетах на основании единичного

ландшафтов превышает средний показатель по Красноярскому краю и на основании региональных нормативов «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края» принадлежит уровню «регистрации», хотя максимальные значения, зарегистрированные в этих аграрных ландшафтах, 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 [175].

Оценка радиоэкологической обстановки аграрных ландшафтов проводилась путем определения плотности загрязнения почвы антропогенными техногенными изотопами (площадная активность). Плотность загрязнения определялась на основе средних эмпирических данных удельной активности ^{137}Cs, по формуле:

$$П = 2{,}7 \times 10^{-4} \times a \times d \times h \qquad (1)$$

где: a – удельная активность пробы Бк/кг; d – масса пробы; h – размер слоя отбора пробы.

На основании расчета площадной активности ^{137}Cs можно выделить 1-ый опытный аграрный ландшафт, в котором плотность загрязнения составила – 1,84 Ku/км^2 во втором опытном – 0,78 Ku/км^2. В контрольном аграрном ландшафте площадная активность составила – 0,04 Ku/км^2, эта величина входит в диапазон фоновых значений характеризующих глобальное техногенное радиоактивное загрязнение почв Красноярского края – 0,08 Ku/км^2. Плотность загрязнения ^{137}Cs в 1-ом опытном в 46 раз, во 2-ом опытном ландшафте в 19 раз выше, чем контрольном ландшафте ($P<0{,}001$), однако установленные значения не превышают значения нормативных документов РФ [108]. Согласно документу «Критерии оценки экологической

обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» экологическую обстановку в сенокосно-пастбищных агробиоценозах опытных аграрных ландшафтов можно отнести к «относительно удовлетворительной».

Таким образом, локальное техногенное радиоактивное загрязнение поймы реки Енисей и господствующее движение воздуха, отягощенного антропогенными радионуклидами из газо-аэрозольных выбросов ФГУП «ГХК», являлись основными факторами в антропогенном радиоактивном загрязнении отдельных территорий.

Распределение результатов значений удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта по частотному ранжированию сосредоточены в диапазоне до 15 Бк/кг, что соответствует диапазону глобального техногенного радиоактивного загрязнения ^{137}Cs почв края рисунок 3.2.3.

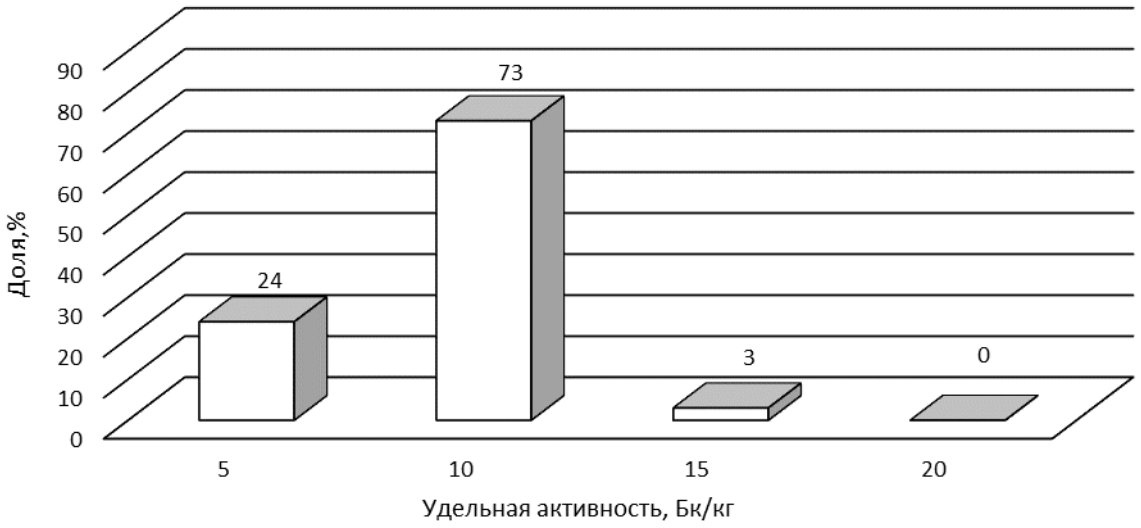


Рисунок 3.2.3 – Распределение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта

Эмпирическое распределение соответствовало логарифмически нормальному закону распределения, на рисунке 3.2.3. приведена гистограмма

характерного логнормального распределения с модой в 10 Бк/кг.

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 (рисунок 3.2.4).

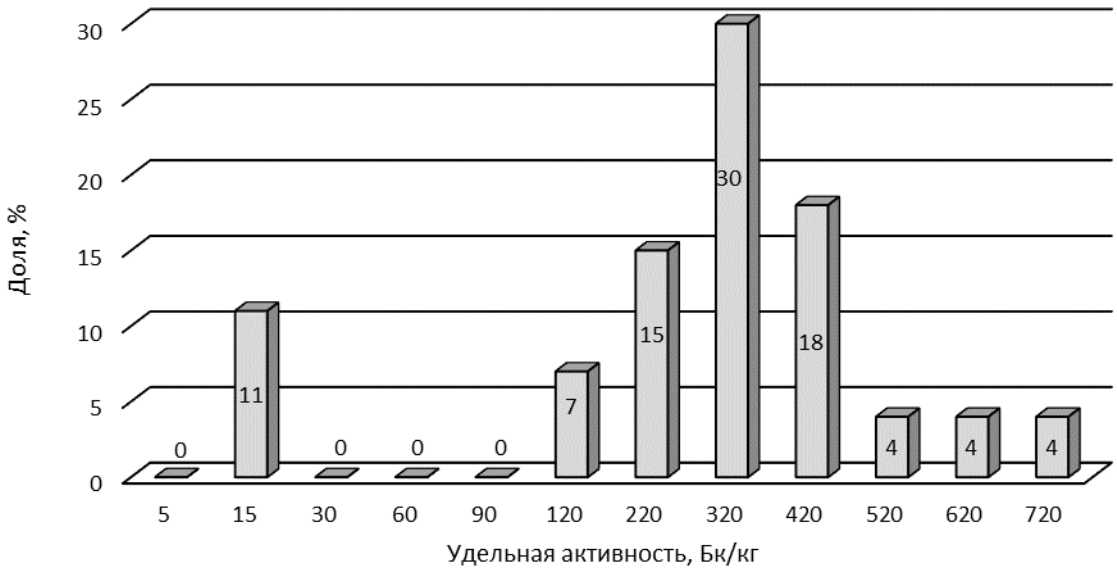


Рисунок 3.2.4 – Распределение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов 1-го опытного аграрного ландшафта

Распределение показателей удельной активности ^{137}Cs в почвах 1-го опытного аграрного ландшафта относится к распределению Гаусса, в нем выделятся два максимума (моды). Первый максимум находится в диапазоне совокупности 5-15 Бк/кг и отражает глобальное техногенное радиоактивное. Второй максимум находится в диапазоне совокупности 220-320 Бк/кг и характеризует дополнительное локальное техногенное загрязнение. Распределение результатов наглядно доказывает предположение о наличии дополнительного антропогенного радиоактивного загрязнения почв аграрных

ландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

Распределение значений удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов 2-го опытного аграрного ландшафта так же комбинировало значения, характерные для фонового (глобального) загрязнения – до 25 Бк/кг, и результаты отражающие дополнительное техногенное загрязнение в результате выпадения ^{137}Cs из газо-аэрозольных выбросов и загрязнении поймы реки Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК» – 75 Бк/кг и более (рисунок 3.2.5).

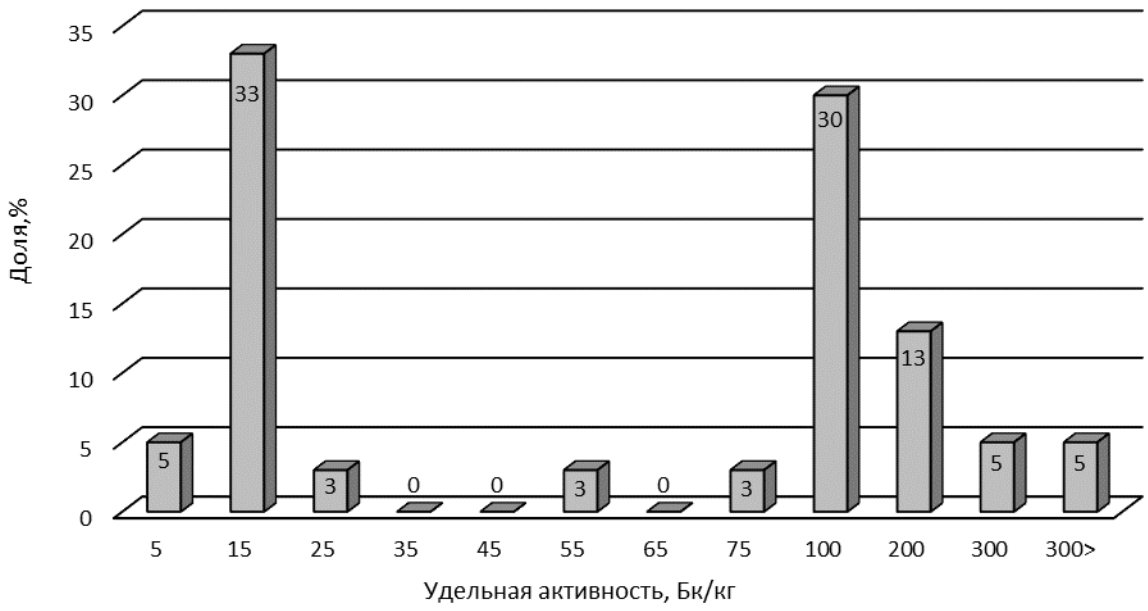


Рисунок 3.2.5 – Распределение удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов 2-го опытного аграрного ландшафта

Размещение показателей удельной активности ^{137}Cs в почвах агробиоценозов 2-го опытного аграрного ландшафта относилось к логарифмически-нормальному распределению, в нем, как и в распределении результатов по агробиоценозам 1-го опытного аграрного ландшафта выделялось две моды (максимума). Первый максимум принадлежал диапазону значений 5-15 Бк/кг и характеризовал глобальное техногенное загрязнение.

Второй максимум находился в диапазоне совокупности 75-100 Бк/кг и отражал дополнительное техногенное радиоактивное загрязнение. Гистограммы на рисунках 3.2.4 и 3.2.5 убедительно доказывают гипотезу о присутствии дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв аграрных ландшафтов, в результате деятельности ФГУП «ГХК».

Уровень техногенного загрязнения почв агробиоценозов 1-го опытного аграрного ландшафта превышал предельно допустимое значение – 37 кБк/м^2, для территорий с удовлетворительной радиационной обстановкой. Однако уровень техногенного загрязнения почв 2-го опытного аграрного ландшафта меньше предельно допустимого значения.

Таким образом, опытные аграрные ландшафты выделяются по площадной активности ^{137}Cs и удельной активности ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов. По уровню загрязнения ^{137}Cs почвы контрольного аграрного ландшафта не отличаются от фонового глобального техногенного загрязнения территории Красноярского края.

Методическими указаниями «Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов» [139] установлено, что в агроэкосистемах, имеющих воздействие радиационно-опасных объектов, следует оценить вертикальное распределение изотопов по профилю почв. Согласно вышеприведенному документу проведено определение вертикального распределения ^{137}Cs в профиле почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов опытных аграрных ландшафтов. Вертикальное распределение изотопов ^{137}Cs было исследовано на глубину 40 см слоя (в таблица 3.2.4).

Вертикальное распределение ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных агробиоценозов опытных аграрных ландшафтов свидетельствует о превалирующем депонировании ^{137}Cs в 10-20 см слое почвы. В почвах естественных биогеоценозах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС ^{137}Cs преимущественно сосредоточен в 10 см слое [64, 65]. В опытных аграрных ландшафтах произошла миграция техногенных

радионуклидов по профилю почвы (заглубление). Распределение ^{137}Cs по вертикали в профиле почвы сенокосных-пастбищных агробиоценозов контрольного аграрного ландшафта соответствует данным характеризующим глобальном техногенное радиоактивное загрязнении.

Таблица 3.2.4 – Вертикальное распределение ^{137}Cs в профиле почв, Бк/кг

Глубина по профилю почвы, см	Аграрный ландшафт		
	контрольный	1 опытный	2 опытный
0 – 10	6,85±0,45	247,58±25,61***	112,61±17,04***
10 – 20	6,22±0,83	384,52±142,56*	178,25±62,52*
20 – 30	5,35±0,30	448,58±171,57*	136,20±55,80*
30 – 40	5,57±1,16	313,90±53,24**	35,02±7,6*

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

Концентрация ^{137}Cs в верхнем – 10 см слое почвы опытных аграрных ландшафтов значимо превышает аналогичный показатель по контрольному ландшафту. Удельная активность ^{137}Cs в почве на глубине 0-10 см в 1-ом опытном аграрном ландшафте в 36 раз во 2-ом в 16 раз превышает показатель по котрольному аграрному ландшафту (P<0,001). Основная концентрация ^{137}Cs сосредоточена на глубине 10-30 см, значение удельной активности ^{137}Cs в опытных аграрных ландшафтах достоверно (P<0,05) выше, чем в контрольном. Значительная величина ошибки объяснятся наличием агробиоценозов с разной степенью загрязнения (агробиоценозы находящиеся в пойме реки Енисей и на высокой надпойменной террасе). Динамика вертикального распределения ^{137}Cs по профилю почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов представлена на рисунке 3.2.6.

Распределение результатов определения ^{137}Cs в профиле почвы по вертикали контрольных аграрных ландшафтов имело вид логарифмически-

нормального распределения, в контрольном ландшафте вид гамма – распределения.

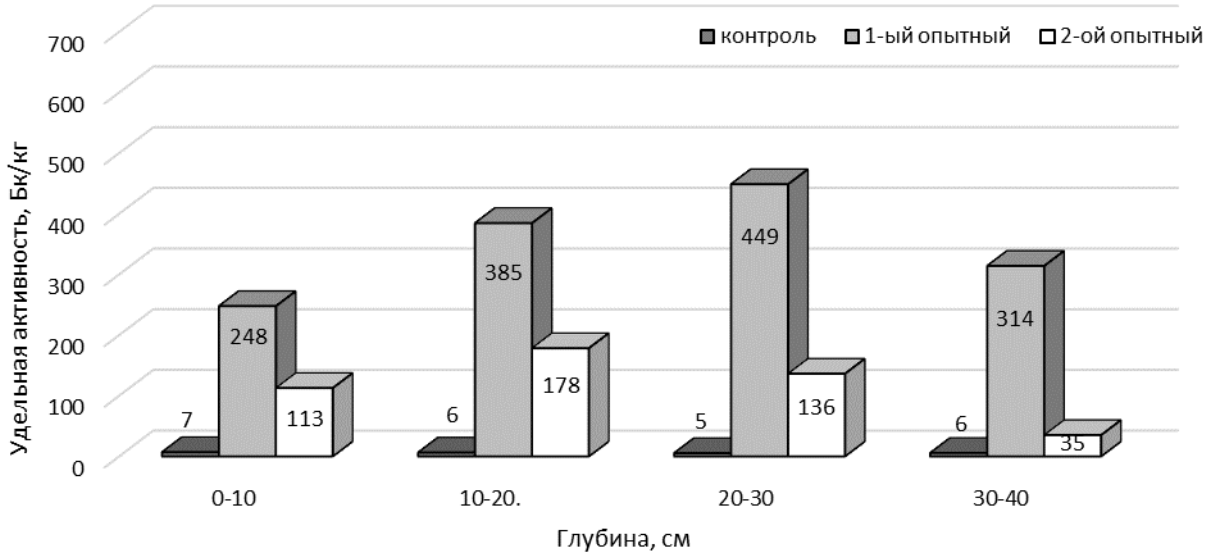


Рисунок 3.2.6 –Удельная активность ^{137}Cs по глубине почвы сенокосно-пастбищных агробиоценозов аграрных ландшафтов

Удельная активность ^{137}Cs в почвах и динамика вертикального депонирования ^{137}Cs по профилю почв сенокосно-пастбищных агробиоценозов двух опытных аграрных ландшафтов доказывало гипотезу о присутствии дополнительного техногенного радиоактивного загрязнения почв аграрных ландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

3.2.2 Радиационная безопасность кормов

Высокий уровень антропогенного радиоактивного загрязнения почв опытных аграрных ландшафтов формирует дополнительное радиоактивное загрязнение кормов, заготавливаемых на этих территориях, таблица 3.2.5. Значение удельной активности ^{137}Cs в траве пастбищных угодий в контрольном аграрном ландшафте находилось в диапазоне 0,91-1,68 Бк/кг, в первом опытном аграрном ландшафте – 4,22-14,17 Бк/кг., во 2-ом опытном аграрном ландшафте – 1,0-7,98 Бк/кг. Спектрометрическим методом установлено, что удельная активность ^{137}Cs в сене разнотравном в

контрольном аграрном ландшафте принадлежала диапазону значений 0,53-1,50 Бк/кг., в 1-ом опытном аграрном ландшафте 1,2-2,3 Бк/кг, во 2-ом опытном ландшафте 1,1-2,67 Бк/кг.

Удельная активность ^{137}Cs в кормах с сенокосно-пастбищных агробиоценозов 1го опытного аграрного ландшафта в 6,4 раза, 2-го опытного в 2,7 раза выше, чем в агробиоценозах контрольного аграрного ландшафта (P<0,05).

Таблица 3.2.5 – Удельная активность ^{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	0,97±0,09
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

Значительные показатели радиоактивного техногенного загрязнения кормов с сенокосно-пастбищных биогеоценозов 1-го опытного аграрного ландшафта, объяснялись дополнительным загрязнением почв, связанным с техногенным загрязнем поймы р. Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК», 2-го опытного аграрного ландшафта – загрязнением поймы реки и газо-аэрозольными выбросами ФГУП «ГХК».

В работе оценена удельная активность ^{137}Cs в суточном рационе крупного рогатого скота, для расчета суммарной активности использовали потребление животными с сутки: для стойлового периода 4-12 кг сена, для пастбищного периода 40 кг травы, таблица 3.2.6.

Таблица 3.2.6 – Содержание ^{137}Cs в суточном рационе коров аграрных ландшафтов

Аграрные ландшафты	Период содержания	Активность рациона, Бк/сут.	
		Диапазон изменчивости	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

Удельная активность рациона коров изменяется в широких переделах, однако в контрольном аграрном ландшафте предел ограничен концентрацией ^{137}Cs 67,2 Бк/кг, тогда как в 1-ом опытном – 566,8 Бк/кг, во 2-ом опытном – 319,2 Бк/кг удельные активности рациона опытных аграрных ландшафтов согласуются с данными полученными в отдаленный период на территории сельскохозяйственных угодий загрязненных в результате ЧАЭС[5].

Во всех аграрных ландшафтах средние значения активности пастбищного рациона превышали результаты по стойловому периоду причиной этого является разница в концентрации воды в грубых и сочных кормах. Установлена значительная активность пастбищного рациона, средняя удельная активность рациона в летний период 1-го опытного аграрного ландшафта в 7,7 раза (P<0,001), 2-го ландшафта в 3,1 раза (P<0,05) превосходило данные контрольного аграрного ландшафта. Средняя активность стойловых рационов опытных ландшафтов в 1,7 раза превышала значения контроля (P<0,05).

[55] Ильязов, Р.Г., Радиоэкологические, социальные последствия и философские уроки Чернобыльской катастрофы / Р.Г. Ильязов. Казань, 2011 – 52с.

Используя эмпирические данные, выполнено частотное ранжирование результатов, отражающих удельную активность ^{137}Cs в кормах, заготавливаемых на сенокосно-пастбищных биогеоценозах в тестируемых аграрных ландшафтах (рисунки. 3.2.7, 3.2.8, 3.2.9).

Рисунок 3.2.7 – Удельная активность ^{137}Cs в кормах контрольного аграрного ландшафта

Удельная активность ^{137}Cs проб сена разнотравного контрольного аграрного ландшафта находилась в интервале от 2 до 4 Бк/кг (рисунок 3.2.5). Частотное распределение удельной активности ^{137}Cs в кормах контрольного аграрного ландшафта (рисунок 3.2.5) имело вид гамма-распределения характерного для большого количества природных объектов. В подавляющем большинстве – 91 % результаты, контрольного аграрного ландшафта соответствовали диапазону 0-2 Бк/кг, это совпадает с уровнем глобального техногенного радиоактивного загрязнения территории Красноярского края.

Удельная активность проб ^{137}Cs сена разнотравного 1-го опытного аграрного ландшафта находилась в интервале от 2 до 16 Бк/кг (рисунок 3.2.8).

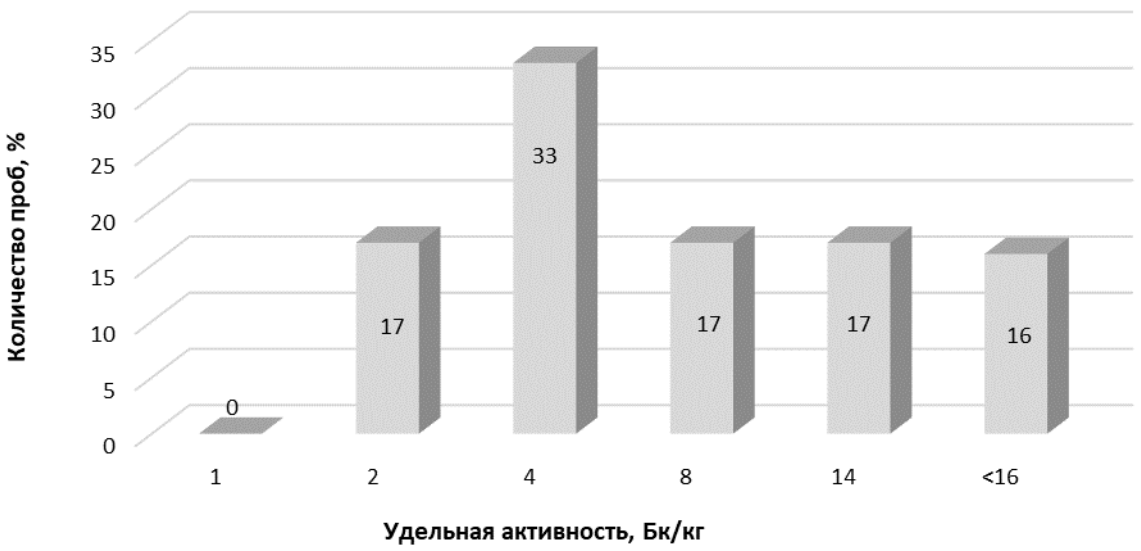


Рисунок 3.2.8 –Удельная активность ^{137}Cs в кормах в, 1-го опытного аграрного ландшафта

Частотное распределение результатов удельной активности ^{137}Cs в кормах в 1-ом опытном аграрном ландшафте соответствовало нормальному закону распределения с максимумом в 4 Бк/кг. Значительный средней показатель удельной активности ^{137}Cs в кормах этого аграрного ландшафта обязана наличием значительного количества – 33 % результатов с высокими показателями.

Удельная активность проб кормов, выращиваемых на сенокосно-пастбищных биогеоценозах 2-го опытного аграрного ландшафта, находилась в интервале от 1 до 7 Бк/кг (рисунок 3.2.9).

Частотное распределение показателей удельной активности ^{137}Cs в кормах, выращиваемых на сенокосно-пастбищных биогеоценозах 2-го опытного аграрного ландшафта, принадлежало нормальному закону распределения с модой (максимумом) в 2 Бк/кг. Высокая средняя концентрация ^{137}Cs в кормах этого ландшафта определяется наличием значительного количества (42,8%) результатов с высокими показателями удельной активности.

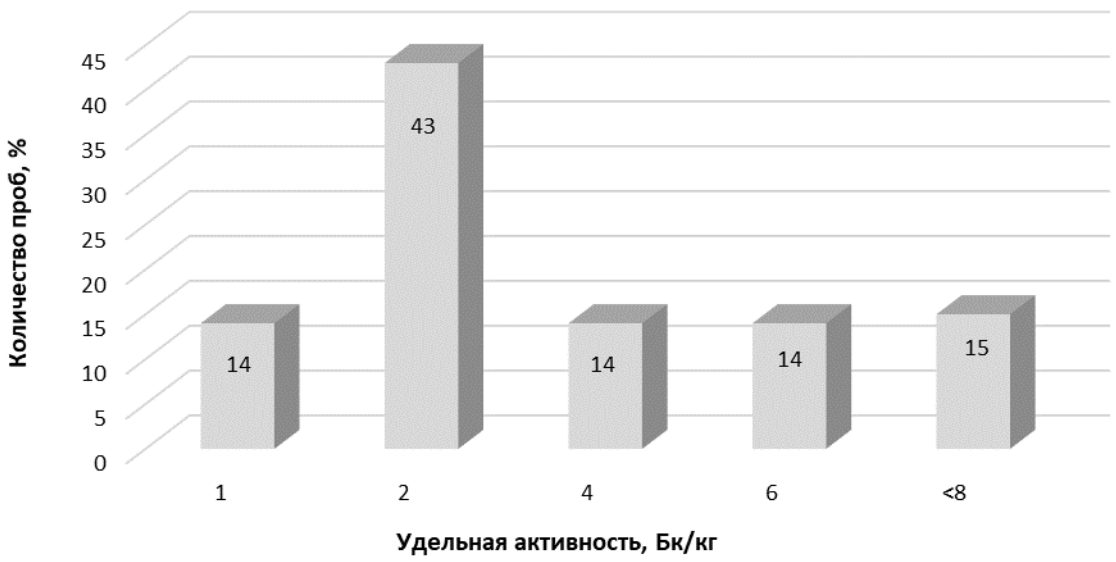


Рисунок 3.2.9 – Удельная активность ^{137}Cs в кормах, 2-го опытного аграрного ландшафта

В частотном ранжировании результатов по опытным аграрным ландшафтам наглядно выделяется присутствие «хвоста», обязанного пробами с удельной активностью ^{137}Cs до 16 Бк/кг – 1-ый опытный аграрный ландшафт и до 8 Бк/кг – 2-ой опытный аграрный ландшафт. Причиной этого являются локальные газо-аэрозольные выпадения и загрязнение поймы реки Енисей в результате деятельности ФГУП «ГХК». Таким образом, анализ эмпирических данных позволяет заключить, опытные аграрные ландшафты испытывают дополнительное техногенное радиоактивное загрязнение.

3.2.3 Радиационная безопасность продукции животноводства

В работе исследована радиационная безопасность молока коровьего, которое относится к основным дозообразующим пищевым продуктам, полученные результаты приведены в таблице 3.2.7.

Таблица 3.2.7 – Удельная активность ^{137}Cs в молоке коровьем в ферменных биогеоценозах аграрных ландшафтов

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

Из данных таблицы следует, что дополнительное техногенное загрязнение почв и кормов опытных аграрных ландшафтов формирует радиоактивную антропогенную нагрузку на продукцию животноводства. Удельная активность ^{137}Cs в молоке коровьем в первом опытном аграрном ландшафте в 8,3 раза, во втором опытном ландшафте в 6,7 раза выше относительно значений контрольного ландшафта (P<0,001). Однако, удельная активность ^{137}Cs в молоке, производимом в ферменных биогеоценозах опытных аграрных ландшафтов, значительно ниже гигиенического норматива – 100 Бк/кг. Согласно требованиям нормативных документов [178, 179] можно заключить, что на территории Красноярского края производится безопасная в радиационном отношении молочная продукция.

Распределение значений удельной активности ^{137}Cs молока коровьего, производимого в аграрных ландшафтах, представлено на рисунке 3.2.10.

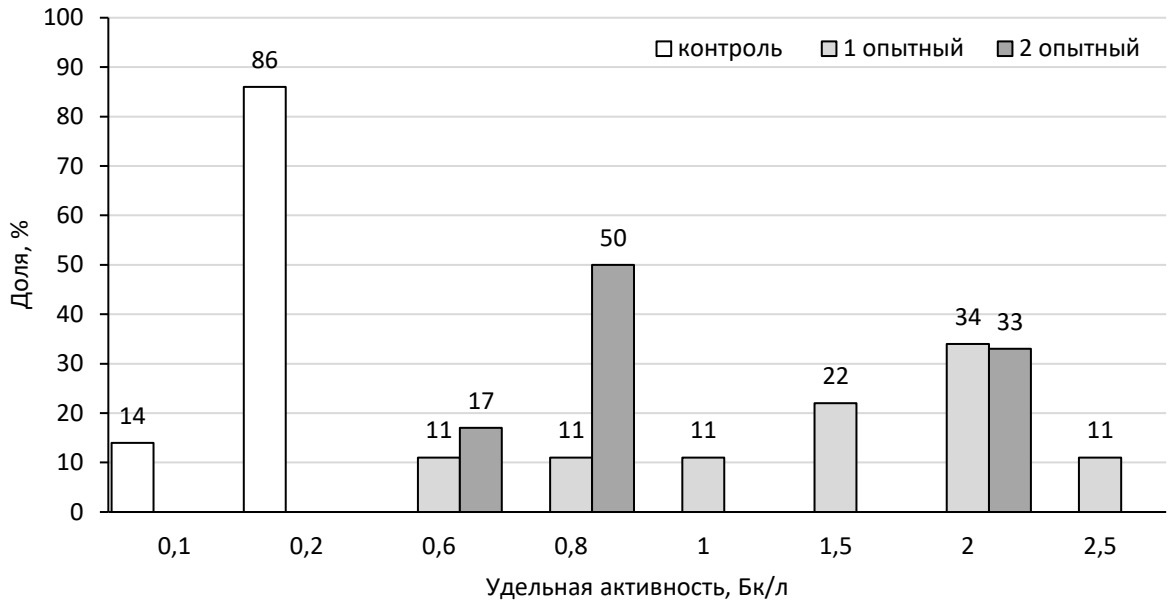


Рисунок 3.2.10 – Распределение удельной активности ^{137}Cs молока коровьего

Распределение результатов удельной активности ^{137}Cs молока коровьего в контрольном аграрном ландшафте имело вид гамма-распределения характерного для множества природных объектов. Распределение результатов концентрации ^{137}Cs в молоке коровьем в опытных аграрных ландшафтах принадлежало нормальному закону распределения с максимум 0,8 Бк/кг – для первого опытного аграрного ландшафта и 2 Бк/кг – для второго опытного. Аппроксимация распределений результатов удельной активности ^{137}Cs молока коровьего в опытных аграрных ландшафтах наглядно подтверждает наличие дополнительного техногенного загрязнения аграрных ландшафтов в результате деятельности ФГУП «ГХК».

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

В настоящее время миграция ^{137}Cs по трофической цепи «почва – корма – продукция животноводства» в опытных аграрных ландшафтах существует в равновесном положении.

Построение модели миграции ^{137}Cs в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной радиоактивной нагрузкой требуется для прогнозирования удельной активности ^{137}Cs в продукции животноводства. Моделирование учитывает уровень техногенного радиоактивного загрязнения территории и её изменение в случае повышения радиоактивности газо-аэрозольных выбросов ФГУП «ГХК». Моделирование позволит проводить выбор сенокосно-пастбищных агробиоценозов для заготовки кормов, использование чистых кормов в рационе будет способствовать производству радиационно-чистой молочной продукции.

При изучении миграции ^{137}Cs в аграрных ландшафтах нами использовались коэффициенты накопления ($К_н$), перехода ($К_п$), кратность накопления (F) в продукции животноводства, и статистические методы, предназначенные для оценки коэффициентов корреляции и построения линейных регрессионных моделей.

Интенсивность поступления радионуклидов в корма анализировалась с применением коэффициента накопления $K_н$ (концентрационного отношения), определяемого по средним значениям концентрации, полученным в ходе исследования, расчет выполняли по формуле:

$$K_н = \frac{[R]_P}{[R]_B}, \qquad (3.3.1)$$

где: $[R]_P$ – удельная активность изотопа в растении (Бк/кг сух. массы), $[R]_B$ – удельная активность изотопа в почве (Бк/кг сух. массы).

Транспорт ^{137}Cs определялся с применением значений кратности накоплений F. Показатель оценивает соотношение удельной активности радионуклида в ткани к новому поступлению в условиях хронического поступления, расчет выполняли по формуле:

$$F = \frac{C \times M}{Q}, \qquad (3.3.2)$$

где: C – удельная активность радионуклида в ткани (Бк/кг); M – масса ткани (кг), Q – концентрация изотопа, ежедневно поступающая с рационом (Бк). Для

расчета показателя использовались средние значения, полученные в результате настоящей работы.

Коэффициент перехода изотопа в продукцию животноводства рассчитывался по формуле:

$$K_п = \frac{R_{прод}}{R_{почвы}}, \quad (3.3.3)$$

где $R_{прод}$ – концентрация изотопа в продукции животноводства (Бк/кг), $R_{почв}$ – удельная активность изотопа в почве (Бк/кг).

Коэффициент корреляции (r) между удельной активностью изотопа в звеньях цепи миграции, значение достоверности аппроксимации (R) и уравнение регрессии для каждого звена миграции изотопа определялось с применением методов статистической обработки данных на основе математического пакета программы Excel.

Для расчета использовались средние значения удельной активности ^{137}Cs в почве – таблица 3.2.3; в кормах – таблица 3.2.5; в молоке коровьем – таблица 3.2.6. Расчет проведен на стойловый период содержания животных, результаты представлены в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1 – Показатели миграции ^{137}Cs в компонентах аграрных ландшафтов

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

Значения коэффициента накопления ^{137}Cs многолетними растениями и коэффициента перехода ^{137}Cs в продукцию животноводства в опытных аграрных ландшафтах находятся в диапазоне, совпадающем с данными, приводимыми в научных публикациях Кимаковской Н.А. (2014), Ларионовой Н.В. (2013), Окунева А.М. (2018), Sandalls S. (992) [94, 121, 148, 274], в месте с тем они приобрели численные выражения, характерные для аграрных ландшафтов Красноярского края.

В дальнейшем полученные коэффициенты могут применяться для оценки миграционной активности ^{137}Cs между звеньями в аграрных ландшафтах с установленной техногенной нагрузкой. Могут использоваться для прогнозирования миграции ^{137}Cs при изменении радиоэкологической ситуации в аграрных ландшафтах.

3.3.1 Модель миграционной активности ^{137}Cs в первом опытном аграрном ландшафте

Модель миграции ^{137}Cs, построена на основании данных, отраженных в таблице 3.3.1., рисунок 3.3.1.

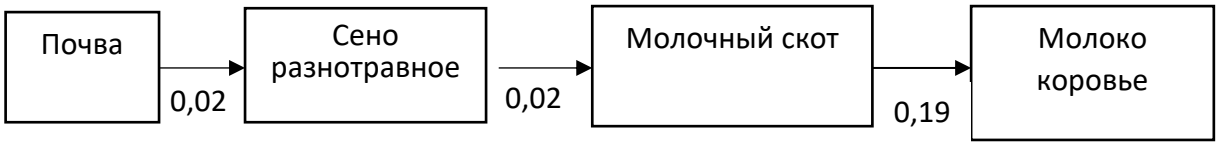


Рисунок 3.3.1 – Модель миграционной активности ^{137}Cs в 1-мо опытном аграрном ландшафте

Агрохимические показатели почв, видовой состав и биологические особенности растительного покрова сенокосно-пастбищных биогеоценозов, природно-климатические условия (продолжительность вегетационного периода, тепло- и влагообеспеченность и т.п.) 1-го опытного аграрного

ландшафта приводят к доступности лишь 2 % почвенного ^{137}Cs.

В условиях 1-го опытного аграрного ландшафта (см. рисунок 3.4.1) лактирующие коровы, как звено трофической цепи, являются серьезным препятствием при миграции ^{137}Cs в молочную продукцию. Это звено задерживает до 98% ^{137}Cs, поступившего с рационом в организм животного, при его миграции в молоко.

На основе биометрической обработки данных с применением статистического пакета программы Excel выявлена тесная линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену между удельной активностью ^{137}Cs в почвах и кормах (r = 0,95). Линейная умеренная корреляционная связь между удельной активностью ^{137}Cs в кормах и концентрацией ^{137}Cs в молоке коровьем (r = 0,96).

Сочетано с оценкой степени корреляционной зависимости между удельной активностью ^{137}Cs в звеньях цепи миграции, практически важным является определение количественной связи между звеньями в любой период мониторинговых исследований. Определение количественной оценки удельной активности ^{137}Cs в звеньях миграционной цепи установлено с помощью регрессионного анализа с использованием программы Excel.

Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в кормах от удельной активности изотопа в почвах на сенокосно-пастбищных биогеоценозах первого опытного аграрного ландшафта представлена на рисунке 3.3.2.

Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в молоке коровьем от удельной активности изотопа в кормах в ферменных биоценозах первого опытного аграрного ландшафта, рис. 3.3.3.

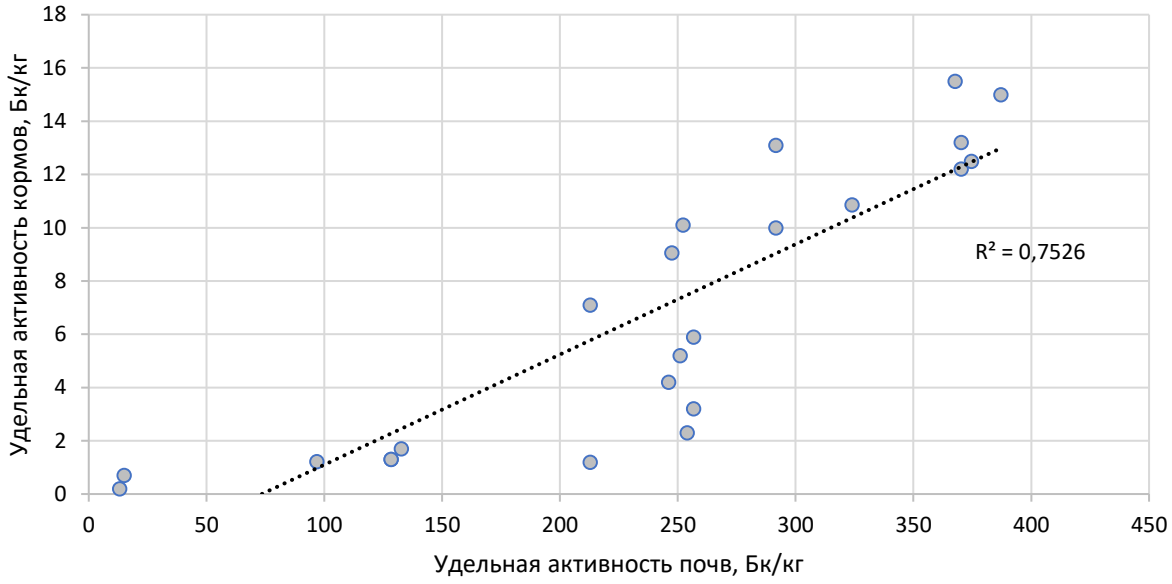


Рисунок 3.3.2 – Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в кормах и почве сенокосных биогеоценозов 1-го опытного аграрного ландшафта

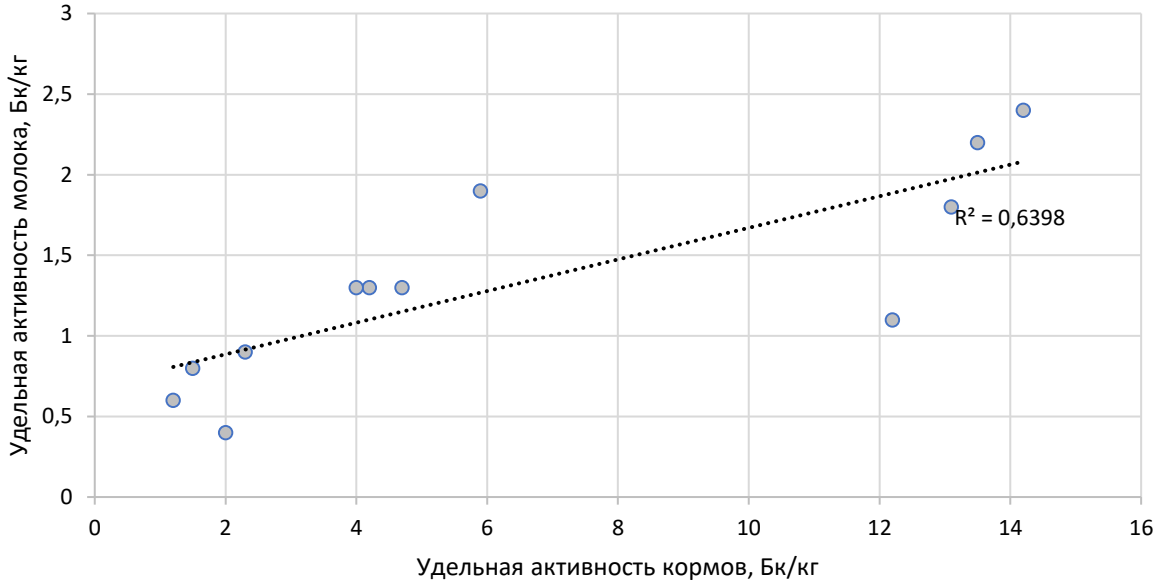


Рисунок 3.3.3 – Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в молоке и кормах 1-го опытного аграрного ландшафта

Следовательно, правомочно использование полученного нами уравнения линейной регрессии (3.3.4), позволяющего определить удельную активность ^{137}Cs (y) в кормах, выращиваемых в первом опытном аграрном ландшафте, при известной концентрации ^{137}Cs (x) в почвах:

$$y = 0{,}0414x - 3{,}0385 \quad (3.3.4)$$

Для цепи миграции первого опытного аграрного ландшафта выявлена линейная зависимость между удельной активностью ^{137}Cs (x) в кормах и молоке коровьем (y) с коэффициентом аппроксимации R^2 равном 0,64:

$$y = 0{,}0981x + 0{,}6893 \quad (3.3.5)$$

Эта зависимость является прогнозируемой, потому что очевидно, что содержание ^{137}Cs в продукции животноводства должно напрямую зависеть от радиоактивности кормов, составляющих рацион сельскохозяйственных животных. Однако в первые эта зависимость описана уравнением, позволяющим рассчитать удельную активность ^{137}Cs в молоке при определенной активности кормов что имеет несомненную практическую значимость.

Установленная линейная зависимость демонстрирует, что незначительное увеличение удельной активности рациона, обусловленное присутствием ^{137}Cs, приводит к эквивалентному увеличению удельной активности изотопа в молоке коровьем.

3.3.2 Модель миграционной активности ^{137}Cs во втором опытном аграрном ландшафте

Модель миграции ^{137}Cs, выполнена на основании полученных результатов, см таблицу 3.3.1., отражена на рисунке 3.3.4.

Агрохимические показатели почв, видовой состав и биологические особенности растительного покрова сенокосно-пастбищных биогеоценозов, природно-климатические условия (продолжительность вегетационного периода, тепло- и влагообеспеченность и т.п.) 2-го опытного аграрного ландшафта так же, как и в первом опытном приводят к доступности лишь 2 % почвенного^{137}Cs.

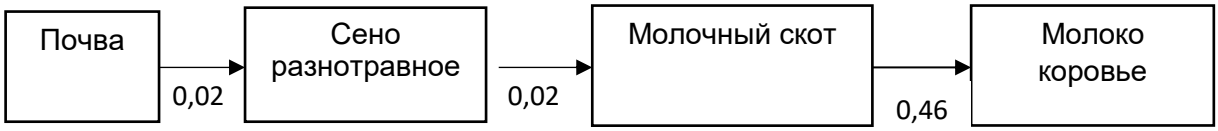


Рисунок 3.3.4 – Модель миграционной активности и ^{137}Cs во втором опытном аграрном ландшафте

Крупный рогатый скот, как звено цепи миграции ^{137}Cs, в условиях 2-го опытного аграрного ландшафта (см. рисунок 3.3.4) представляет значимый барьер для миграции ^{137}Cs в молочную продукцию. Организм лактирующих коров как звено трофической цепи задерживает 95% ^{137}Cs, поступившего с рационом, при его миграции в молоко.

На основании биометрической оценки полученных данных с применением пакета программы Excel выявлена тесная прямая линейная ранговая корреляционная связь по Спирмену между содержанием ^{137}Cs в почвах и удельной активностью кормов (r = 0,89) с сенокосно-пастбищных агробиоценозов. Установлена тесная прямая линейная корреляционная взаимосвязь между концентрацией ^{137}Cs в кормах и удельной активностью ^{137}Cs в молоке коровьем(r = 0,94).

Сочетано с оценкой корреляционной зависимости между удельной активностью ^{137}Cs в звеньях цепи миграции, практически необходимым считается выявление количественной связи между звеньями в различное время мониторинговых изучений. Для определения наличия количественной связи использован регрессионный анализ с применением программы Excel.

Установлена линейная зависимость концентрации ^{137}Cs в кормах от удельной активности этого изотопа в почвах сенокосных-пастбищных биогеоценозах 2-го опытного аграрного ландшафта, рисунок 3.3.5.

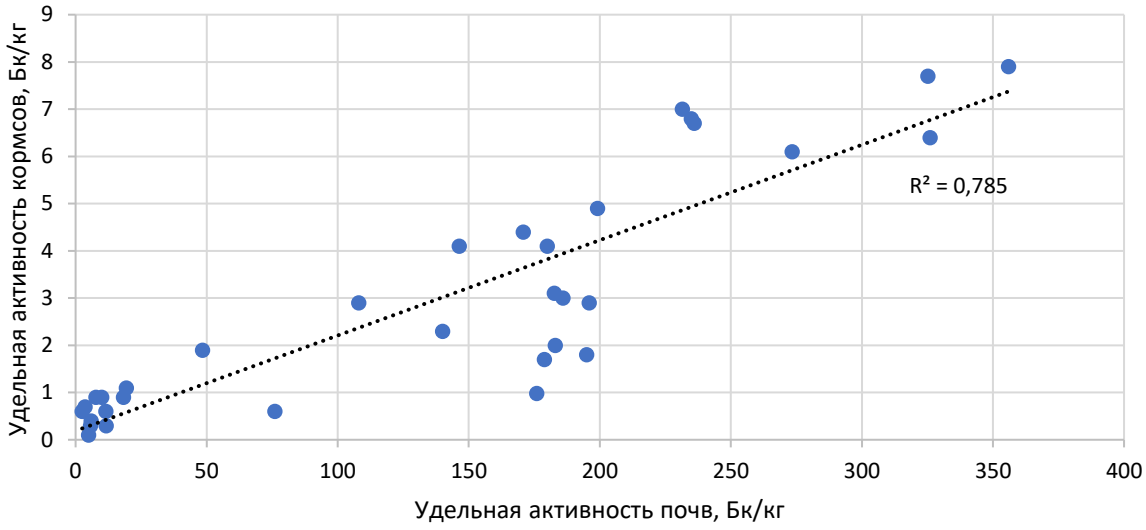


Рисунок 3.3.5 – Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в кормах и почве сенокосных биогеоценозов 2-го аграрного ландшафта

Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в молоке коровьем от удельной активности ^{137}Cs в сене разнотравном ферменных биоценозах 2-го опытного аграрного ландшафта, рис. 3.3.6.

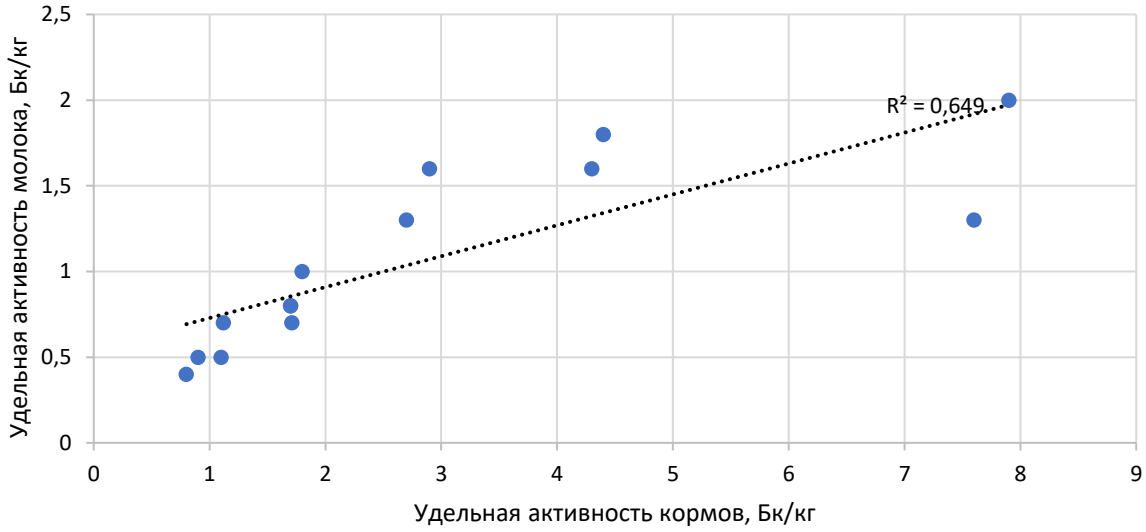


Рисунок 3.3.6 – Линейная зависимость удельной активности ^{137}Cs в молоке коровьем и кормах ферменных биоценозов 2-го аграрного ландшафта

Таким образом, возможно практическое применение полученного нами уравнения линейной регрессии, позволяющего определить расчетным

методом удельную активность ^{137}Cs (y) в кормах, выращиваемых на сенокосно-пастбищных агробиоценозах 2-го опытного аграрного ландшафта, при известной удельной активности ^{137}Cs в почвах (x):

$$y = 0{,}0202x + 0{,}1885 \quad (3.3.6)$$

Для цепи миграции ^{137}Cs в звене «корма – продукция животноводства» 2-го опытного аграрного ландшафта выявлена прямая линейная зависимость между концентрацией ^{137}Cs в кормах (x) и молоке коровьем (y) с коэффициентом аппроксимации R^2 равном 0,65:

$$y = 0{,}1803x + 0{,}5483 \quad (3.3.7)$$

Практической значение выше приведенного уравнения, определяется возможно с достоверностью 99% оценить предполагаемую радиационную безопасность по ^{137}Cs молока коровьего.

Таким образом, применение методов статистического анализа предоставило возможность установления наличия корреляционной зависимости техногенного радиоактивного загрязнения ^{137}Cs продукции растениеводства и животноводства от уровня антропогенного загрязнения почв сенокосных-пастбищных биогеоценозов, описать соотношения эмпирическими уравнениями линейной регрессии.

В результате работы по оценке интенсивности миграционной активности ^{137}Cs в цепи «почва – корма – продукция животноводства» в аграрных ландшафтах Красноярского края с дополнительным техногенным радиоактивным загрязнением выявлены коэффициенты миграции ^{137}Cs. Определено, что концентрация ^{137}Cs в почвах сенокосно-пастбищных биогеоценозов аграрных ландшафтов с дополнительной техногенной нагрузкой может быть использована как объективный показатель удельной активности ^{137}Cs в продукции животноводства и растениеводства. Это имеет практическую ценность, потому что с применением уравнений линейной регрессии существует возможность прогнозировать степень радиационной опасности продукции животноводства на основании многочисленных сведений об уровне техногенного радиоактивного загрязнения почв в зоне

наблюдения ФГУП «ГХК». В результате есть возможность выбора, подбора, замены сенокосно-пастбищных агробиоценозов в аграрных ландшафтах с установленной техногенной нагрузкой для производства радиационно-чистой продукции животноводства.

3.4 Дозовая нагрузка на сельскохозяйственных животных в аграрных ландшафтах Красноярского края

Расчет величины поглощённой дозы для сельскохозяйственных животных в РФ регламентируется нормативным документом ВП 13.73.13/12-00 «Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами» [45]. Расчет поглощенных доз используется при оценке уровней облучения сельскохозяйственных животных, находящихся на радиационно-загрязненной территории. Расчеты необходимы для разработки и осуществления различных защитных мероприятий и оценки вероятных потерь в животноводстве. Методика определенная в ВП 13.73.13/12-00 полностью применима к расчету уровней облучения сельскохозяйственных животных, находящихся на территории, подвергшейся воздействию радиоактивного заражения (облучения) вследствие ядерных взрывов, ядерных аварий и других процессов, связанных с неконтролируемым распространением техногенных радионуклидов. Эта методика имеет сравнительный характер и не может быть полностью перенесена на условия существования сельскохозяйственных животных в Красноярском крае.

Нами предложена методика расчета годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных Красноярского края [204]. Согласно этой методике дозу внешнего облучения сельскохозяйственных животных на территории Красноярского края на открытой местности необходимо рассчитывать от долгоживущих радионуклидов с учетом

радиоэкологической обстановки. Основой для расчета является мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на открытой местности, которая определяется плотностью загрязнения техногенными долгоживущими радионуклидами, концентрацией естественных радионуклидов и интенсивностью космического облучения. Мощность поглощенной дозы внешнего гамма-излучения (Гр) рассчитывается на основании данных дозиметрических измерений на местности, на высоте 1 м от поверхности почвы. Согласно ВП 13.73.13/12-00, расчет осуществляют по формуле

$$D\text{вн} = 1{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot \mathrm{P}_{\gamma} \cdot \alpha \cdot t, \qquad (3.4.1)$$

где: P_{γ} – мощность поглощенной дозы гамма-излучения, Гр/ч; α – коэффициент ослабления гамма-излучения телом животного (осуществляет переход от поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе на поверхности тела животного и зависит от массы тела животного) в среднем составляет 0,93 отн. ед.; t – длительность нахождения животного на открытой местности, ч. Поправки на экранирование животных за счет микрорельефа почвы, наличия снежного покрова и нахождения в помещениях вводить не следует.

На территории Красноярского края выявлены участки с дополнительным техногенным загрязнением, как правило, это пастбищные участки. Кроме того, стойловому содержанию в темное время суток обычно соответствуют иные величины мощности дозы, чем при выпасе. Поэтому при расчете годовой поглощенной дозы необходимо учесть время нахождения животных на пастбище. В связи с этим формула для расчета дозы внешнего облучения приобретает следующий вид:

$$D\text{вн} = D\text{вн}_{\text{пастб}} + D\text{вн}_{\text{стойл}}. \qquad (3.4.2)$$

С учетом продолжительности пастбищного периода (120 дней), разности значений мощности дозы гамма-излучения на пастбищном участке и в

стойловом помещении доза облучения в пастбищный период рассчитывается по формуле:

$$D\text{вн}_{\text{пастб}} = D\text{вн}_{\text{пастб.день}} + D\text{вн}_{\text{пастб.ночь}}. \quad (3.4.3)$$

С учетом всех стандартных данных доза внешнего облучения за светлое время суток будет рассчитываться по формуле:

$$D\text{вн}_{\text{пастб.день}} = 1{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{P}_{\gamma} \cdot 10^{-6}) \cdot 0{,}93 \cdot 1440, \quad (3.4.4)$$

где P_{γ} – мощность дозы гамма-излучения, мкР/ч; 10^{-6} – коэффициент пересчета из мкГр/час в Гр/ч; 0,93 – коэффициент ослабления гамма-излучения телом животного, отн. ед.; 1440 – длительность нахождения животного на пастбище, ч.

Для расчета дозы внешнего облучения за пастбищный период в ночное время используется формула

$$D\text{вн}_{\text{пастб.ночь}} = 1{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{P}_{\gamma} \cdot 10^{-6}) \cdot 0{,}93 \cdot 1440. \quad (3.4.5)$$

В стойловый период (240 дней) животные постоянно находятся в условиях животноводческого помещения, дозу внешнего облучения за стойловый период можно рассчитать по формуле

$$D\text{вн}_{\text{стойл}} = 1{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{P}_{\gamma} \cdot 10^{-6}) \cdot 0{,}93 \cdot 5760. \quad (3.4.6)$$

Суммарная годовая поглощенная доза внешнего облучения является суммой доз облучения, рассчитанных по формулам 3.4.4-3.4.6.

Расчет дозы внутреннего облучения. В Красноярском крае к основным техногенным изотопам, определяющим радиационную опасность пойменных почв, относят: ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{152,} ^{154}Eu, ^{239,} ^{240}Pu и ^{241}Am. Основную техногенную опасность в кормах представляют ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, изотопы ^{152}Eu, ^{154}Eu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Am имеют низкую миграционную активность. Изотопов ^{131}I в почвах и кормах не обнаружено.

С учетом радиоэкологической обстановки Красноярского края доза внутреннего облучения складывается из суммы доз техногенных радионуклидов:

$$D\text{внутр} = D\text{внутр}_{Sr90} + D\text{внутр}_{Cs137} + D\text{внутр}_{Co60} \quad \text{.....(3.4.7)}$$

В связи с разной концентрацией ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{60}Co в зеленых кормах и грубых кормах можно выделить дозы за пастбищный и стойловый периоды, для каждого техногенного изотопа формула приобретет вид:

$$D\text{внутр}_i = D\text{внутр}_{i\ \text{пастб}} + D\text{внутр}_{i\ \text{стойл}}. \quad (3.4.8)$$

Согласно ВП 13.73.13/12-00, дозы по ^{137}Cs и ^{60}Co при известном загрязнении рациона животных рассчитывают с помощью таблицы 3. Схема расчета в этом случае сводится к перемножению величины концентрации радионуклида на сформированную величину поглощенной дозы. При расчете необходимо сложить поглощенную дозу гамма-излучения в теле животного и дозу от содержимого ЖКТ.

Согласно классификации радионуклидов, наиболее представленных в выбросах предприятий ядерного топливного цикла, по путям их миграции и степени равновесности в окружающей среде [196] ^{60}Co и ^{137}Cs относятся к одной группе. Оба техногенных радионуклида имеют схожие значения почвенной сорбции и коэффициенты накопления в кормах из разного типа почв [15], поэтому возможно использование таблицы 3.4.1 для оценки вклада ^{60}Co в годовую дозу внутреннего облучения.

Согласно ВП 13.73.13/12-00, поглощенная доза в костной ткани от ^{90}Sr *Dкост*, мГр, может быть оценена по соотношению

$$D\text{кост} = \frac{C_t \cdot M \cdot f}{m_{\text{к.т}}} K \cdot t, \quad (3.4.9)$$

где C_t – концентрация ^{90}Sr в рационе, кБк/кг; M – масса потребляемого корма, кг; f – коэффициент депонирования ^{90}Sr в костной ткани, равный 0,1; $m_{к.т.}$ – масса костной ткани животного; K – дозовый коэффициент, мГр/сут, равный для ^{90}Sr 0,0565 мГр × кг/кБк; t – рассматриваемый период, сут.

Таблица 3.4.1 – Поглощенные дозы внутреннего облучения в теле крупного рогатого скота массой 400 кг при потреблении корма с концентрацией ^{137}Cs 1 кБк/кг, мкГр

Продолжительность кормления, сут	Вариант расчета*	Продолжительность облучения, сут				
		30	90	180	270	360
30	1	26,2	103	147	161	165
	2	20,6	47,3	62,4	67,6,1	68,6
	3	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
90	1		114	252	294	308
	2		89,4	137	152	157
	3		13,5	13,5	13,5	13,5
180	1			281	443	494
	2			220	257	294
	3			26,4	26,4	26,4
270	1				464	635
	2				362	421
	3				39,7	39,7
360	1					651
	2					510
	3					52,9

1 – поглощенная доза гамма-излучения; 2 –поглощенная доза бета- излучения; 3 – поглощенная доза гамма-излучения от содержимого ЖКТ.

Для расчета поглощенной дозы от ^{90}Sr используют следующие данные: М – масса потребляемого корма (50 кг); f – коэффициент депонирования (0,1); $m_{к.т.}$ – масса костной ткани (составляет 19 % от массы животного) [122].

Для расчета годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных в Красноярском крае необходимы следующие данные: средние значения мощности поглощенной дозы гамма-излучения на пастбищном участке и в животноводческом помещении, удельная активность ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{60}Co в кормах.

На основании данных по удельной активности ^{137}Cs в почвах аграрных ландшафтов с. Б. Балчуг, согласно региональным нормативам качества окружающей среды в области обеспечения радиационной безопасности, на территории агробиоценозов села необходимо осуществлять периодический

контроль радиационной обстановки [175].

Сельскохозяйственные животные имели близкий по составу рацион, отличием рационов являлась концентрация ^{137}Cs. Удельная активность ^{137}Cs в траве пастбищных угодий в контрольном аграрном ландшафте составила – 1,20±0,24 Бк/кг, в первом опытном аграрном ландшафте – 9,33±2,05 Бк/кг., во 2-ом опытном аграрном ландшафте – 3,75±1,21 Бк/кг. Спектрометрический определено что удельная активность ^{137}Cs в сене разнотравном в контрольном аграрном ландшафте составляла 1,03±0,18 Бк/кг., в 1-ом опытном аграрном ландшафте 1,77±0,44 Бк/кг, во 2-ом опытном ландшафте 1,86±0,45 Бк/кг.

Согласно ВП 13.73.13/12-00 для оценки степени радиационного воздействия на организм сельскохозяйственных животных используют поглощенные дозы внешнего и внутреннего облучения. Вклад в годовую поглощенную дозу внутренней и внешней дозы облучения организма сельскохозяйственных животных в тестируемых аграрных ландшафтах представлен в таблице 3.4.2.

Доза облучения животных отличается значениями внешнего и внутреннего облучений в пастбищный период в светлое время суток. Внешнее облучения определяется различным γ-фоном на пастбищных участках (таблица 3.4.2), внутреннее облучение различной концентрацией ^{137}Cs в зеленом корме.

В результате расчета доз облучения установлено, что суммарная доза воздействия на организм животных составила в контрольном ландшафте – 0,92 мЗв/год, в первом опытным – 1,33 мГр/год, во втором – 1,55 мГр/год. Значение поглощенной дозы 0,92 мГр/год находится в пределах значений, характеризующих глобальный техногенный фон, который регистрируется на всей территории края. В опытных аграрных ландшафтах значение дозы облучения в 1,7 и 1,4 раза соответственно превышает значения по контрольному аграрному ландшафту

Таблица 3.4.2 – Состав годовой поглощенной дозы облучения 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**

Поглощенные дозы, 1,33 и 1,55 мГр/год относятся к диапазону значений сверхмалых доз, согласно рекомендации научного комитета по атомной энергии при ООН [135].

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

Радиобиологические эффекты субклинических поглощенных доз ионизирующего излучения в организме крупного и мелкого рогатого скота оценены по клиническому состоянию исследованных животных, гематологическим показателям, биохимическим данным сыворотки крови,

состоянию свободнорадикальных процессов в клетках крови у животных трех изученных агарных ландшафтов лесостепной зоны Красноярского края.

Животные, находящиеся в ферменных биогеоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр/год, являлись контрольными. В аграрных ландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением животные имели суммарную поглощенную дозу 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год.

Оценка влияния малых доз проведена в период с 2017 г. по 2019 г. Кровь от лактирующих коров (110 головы) черно-пестрой и красно-пестрой породы отбирали в осенне-зимний и весенне-летний периоды одновременно с плановыми ветеринарными обработками. Средний возраст животных 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.

Отбор крови овец курдючной и романовской пород (всего 49 гол.) проведен в ферменных агробиоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр и 1,55 мГр/год. В ферменном биогеоценозе с годовой поглощенной дозой 0,92 мГр/год средний возраст животных составил 30,53±2,82 мес., в биогеоценозе с дозой 1,55 мГр/год – 31,2±4,15 мес. В агробиоценозе с поглощенной дозой 1,33 мГр/год овцы не содержались. Возраст всех исследованных животных в ферменных биогеоценозах не имел статистически достоверных отличий и находился в одном диапазоне изменчивости.

3.5.1 Клиническое состояние животных

Лактирующие 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 присутствовала, сокращение рубца 2,87±0,83 раза за 2 мин. Температура тела находилась в пределах физиологической нормы и в среднем составила 38,34±0,76^{0}С. Частота

сердечных сокращений достигала 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 соответствии с ГОСТ Р 54315 – 2011 животных можно отнести к первой категории упитанности.

Обследованные овцы соматически здоровы, температура тела в среднем составила 39,23±0,23^{0}С, частота пульса – 67±8,9 ударов в минуту, частота дыхания – 15,69±4,93 в минуту. 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. Упитанность животных средняя, что позволило отнести их, согласно ГОСТ 31777-2012, к первой категории упитанности [55].

3.5.2 Морфобиохимические изменения в крови коров при субклинических дозах облучения

У лактирующих коров, содержащихся на территориях с годовой поглощённой дозой 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год установлены достоверные изменения ряда морфобиохимических и иммунологических показателей крови.

Гематологические показатели. Гематологические показатели объективно отражают состояние систем организма и реакцию органов кроветворения на воздействие биотических и абиотических факторов внешней среды. У животных, находящихся под действием субклинических поглощенных доз (1,33 и 1,55 мГр/год), выявлено достоверное увеличение количества эритроцитов в среднем на 29-33% относительно контрольных данных (P<0,001). Рост содержания эритроцитов, по нашему мнению, обусловлен стимулирующим действием малых доз ионизирующего излучения на функциональные способности красного костного мозга к эритропоэзу (табл. 3.5.1). Нами установлено, что поглощенная доза 1,33 мГр/год обладала

более ярким стимулирующим эффектом по сравнению с дозой 1,55 мГр/год. У отдельных животных в крови отмечены изменения форм эритроцитов (шистоциты, акантоциты). При акантоцитозе на поверхности клеток регистрировались выпячивания цитоплазматической мембраны незначительной величины, а при шистоцитозе – встречались фрагменты разрушенных эритроцитов треугольной или оскольчатой формы.

У лактирующих коров под влиянием субклинической дозы облучения 1,33 мГр/год увеличилось содержание гемоглобина более чем на 20% относительно контрольных величин (P<0,01). При дозе 1,55 мГр/год достоверных отличий от показателей контроля не установлено (табл. 3.5.1). Уровень гемоглобина крови у коров при дозе 1,33 мГр/год на 27% превысил показатели в группе животных с дозой 1,55 мГр/год (P<0,001).

Таблица 3.5.1 – Гематологические показатели периферической крови лактирующих коров при малых поглощенных дозах

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

Показатели СОЭ при дозах 0,92 мГр/год и 1,33 мГр/год находились в одном диапазоне изменчивости. В то же время увеличение поглощенной дозы

до 1,55 мГр/год вызвало рост показателей СОЭ в крови коров в 2,7 раза относительно контроля (P<0,001).

Исследования показали отсутствие значительного влияния субклинических доз радиации на общее содержание лейкоцитов в крови лактирующих коров. Установлена незначительная тенденция к сокращению количества лейкоцитов на 2-2,5% относительно контрольных показателей.

В лейкоцитарном профиле крови коров, находящихся при воздействии малых доз облучения установлен лимфоцитоз (таблица 3.5.2). 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 значениям контрольной группы (таб. 3.5.2). В популяции лейкоцитов крови коров, при воздействии малых доз облучения установлен рост абсолютного количества лимфоцитов. При дозе 1,33 мГр/год количество лимфоцитов возросло на $0,33\times10^9$ клеток/л (P<0,05), при дозе 1,55 мГр/год на – $0,49\times10^9$ клеток/л (P<0,01) относительно контроля.

Наряду с лимфоцитозом установлена моноцитопения. Выявлено снижение количества моноцитов. При дозе 1,33 мГр/год уменьшение регистрировалось на $0,16\times10^9$ клеток/л (P<0,01), при дозе 1,55 мГр/год – на $0,12\times10^9$ клеток/л по сравнению со значениями контроля (P<0,05). Относительное содержание моноцитов уменьшилось при дозе 1,33 мГр/год в 2,3 раза (P<0,01), при дозе – в 1,55 мГр/год в 1,7 раза по сравнению со значениями контроля (P<0,05).

В популяции нейтрофильных гранулоцитов под влиянием субклинических доз ионизирующего излучения возрастало относительное содержание юных и палочкоядерных форм нейтрофилов, изменялось соотношение форм нейтрофилов за счет увеличения абсолютного количества юных и палочкоядерных форм при уменьшении количества 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 данных контроля. Отмечено повышение числа юных

нейтрофилов при дозе в 1,33 мГр/год на 0,17×10^9 клеток/л (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год – на 0,08 ×10^9 клеток/л (P<0,05) относительно данных контроля. (табл. 3.5.2).

Таблица 3.5.2 – Абсолютное и относительное содержание лейкоцитов крови коров при малых поглощенных дозах ионизирующего излучения

Клетки крови		Поглощенная доза, мГр/год		
		0,92 (n=41)	1,33 (n=38)	1,55 (n=31)
Лейкограмма, %				
Базофилы[6]		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*
Лейкоциты, ×10^9 клеток/л				
Базофилы		0,11±0,01	0,12±0,01	0,13±0,01
Эозинофилы		0,56±0,04	0,64±0,06	0,51±0,08
Нейтрофилы	Ю	0,10±0,003	0,27±0,04***	0,18±0,02*
	П	0,25±0,01	0,41±0,05***	0,42±0,06**
	С	1,69±0,07	0,92±0,12***	0,97±0,09***
Лимфоциты		4,08±0,10	4,41±0,13*	4,57±0,15**
Моноциты		0,28±0,05	0,12±0,02**	0,16±0,02*

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

[6] Референсные значения лейкоцитарной формулы, крупного рогатого скота согласно Амирову Д.Р. (2020): базофилы 0-2%; эозинофилы 3-8%; нейтрофилы: юные 0-1%, палочкоядерные 2-5%, сегментоядерные 20-35%; лимфоциты 40-65%; моноциты 2-7% [12].

Относительное содержание палочкоядерных нейтрофилов при субклинических 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). Абсолютные значения количества палочкоядерных нейтрофилов при субклинической дозе 1,33 мГр/год повышались на $0,16\times10^9$ клеток/л (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год – на $0,17\times10^9$ клеток/л (P<0,01).

Количество сегментоядерных нейтрофилов в крови при малых дозах радиации понижалось на $0,77\times10^9$ клеток/л при дозе 1,33 мГр/год и на $0,72\times10^9$ клеток/л при дозе 1,55 мГр/год (P<0,001) по сравнению с контрольными значениями – 0,92 мГр/год. Увеличение относительного и абсолютного содержания незрелых форм нейтрофильных гранулоцитов указывало на сдвиг лейкоцитарного профиля периферической крови крупного рогатого скота влево.

При воздействии малых поглощённых доз не выявлено изменение относительного и абсолютного содержания базофилов и эозинофилов по сравнению с данными контрольной группы.

Функциональную характеристику лейкоцитов крови, имеющую важное значение при оценке степени воздействия факторов внешней среды на гомеостаз организма, определяли по фагоцитарной активности. Способность лейкоцитов крови к усилению фагоцитарной активности при антигенном раздражении относится к одному из иммунологических показателей организма. Малые дозы ионизирующего излучения негативно влияли на показатели активности фагоцитов крови. На рисунке 3.5.1 представлена микрокартина (увеличение ×600) фагоцитриующих лейкоцитов. Нами установлено, что поглощенные дозы 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год обусловили достоверное снижение фагоцитарной активности лейкоцитов на 16% по сравнению с контрольной группой животных (P<0,05).

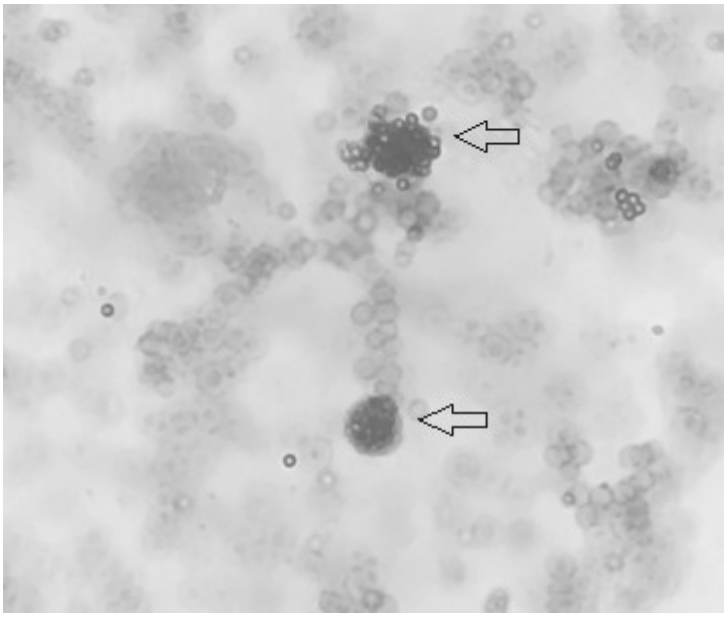


Рисунок 3.5.1 – Фагоцитоз частиц латекса лейкоцитами крови коров (указаны стрелками). Окраска генцианвиолетом, ув. ×600

Показатели фагоцитарного индекса при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год практически не отличались и составляли в среднем 25% (рисунок 3.5.2).

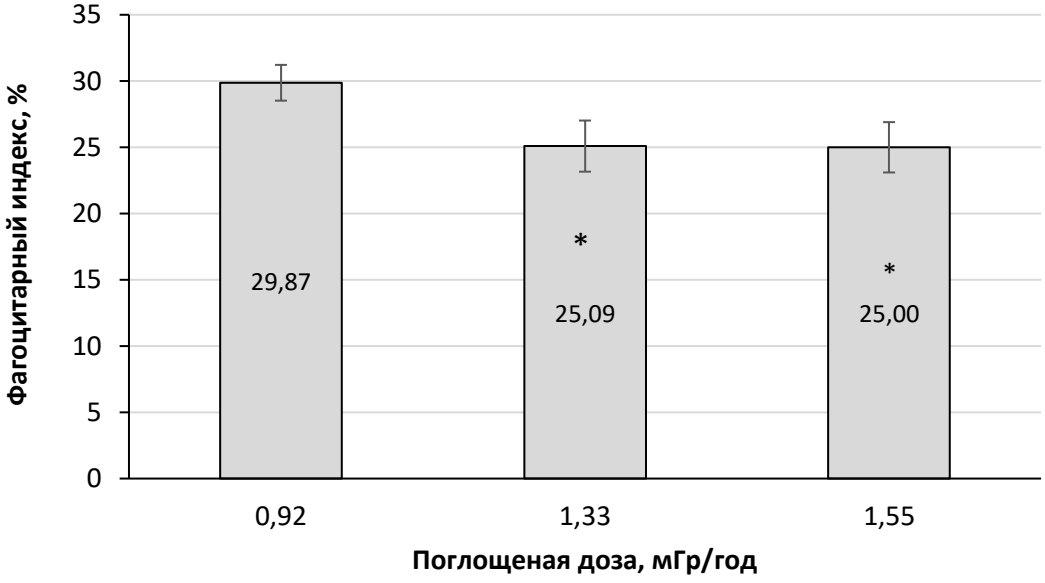


Рисунок 3.5.2 Фагоцитарный индекс лейкоцитов периферической крови лактирующих коров: * P<0,05 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Биохимические показатели сыворотки крови позволяют получить сведения о метаболизме органических и минеральных веществ в организме. Оценка биохимических показателей является универсальным методом определения функциональной активности органов и систем организма. Изменения биохимических показателей периферической крови коров при дозах 1,33 и 1,55 мГр/год приведены в таблице 3.5.3. При воздействии ионизирующего излучения на организм животных в дозе 1,33 мГр/год в сыворотке крови увеличился уровень щелочной фосфатазы на 386,53 нмоль/с×л или в 1,6 раза (P<0,01), при дозе 1,55 мГр/год – на 230,55 нмоль/с×л или в 1,5 раза (P<0,05).

По нашему мнению, увеличение уровня щелочной фосфатазы объясняется активизацией функции паращитовидных желез малыми дозами радиации.

Содержание кальция в периферической крови кров при дозе 1,33 мГр/год уменьшилось на 0,25 ммоль/л или 8% (P<0,05), при дозе 1,55 мГр/год – на 0,21 ммоль/л или 9,5% (P<0,05) относительно контроля (0,92 мГр/год).

Выявлено снижение активности аспартатаминотрансферазы (АСТ) в сыворотке крови животных при поглощенной дозе 1,33 мГр/год на 0,10 мкмоль/с×л или в 2 раза (P<0,01) по сравнению с данными контроля. Однако увеличение поглощенной дозы до 1,55 мГр/год приводит к восстановлению активности АСТ до контрольных значений.

Уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ) при дозе 1,33 мГр/год увеличился на 0,09 мкмоль/с×л или в 4 раза (P<0,001), тогда как при воздействии радиации в дозе 1,55 мГр/год отмечено снижение показателя на 0,02 мкмоль/с×л или в 3 раза (P<0,01) относительно контрольных величин.

Таблица 3.5.3 – Биохимические показатели периферической крови лактирующих коров при малых поглощенных дозах

Биохимические показатели	Референсные значения	Поглощенная доза, мГр/год		
		0,92 (n=41)	1,33 (n=38)	1,55 (n=31)
Резервная щелочность мг%	460-580, [41]	437,36 ±7,25	464,4±9,35	440,52±14,72
Щелочная фосфатаза нмоль/с×л	429-510, [41]	423,76±80,57	810,29±120,81**	654,31±62,58*
АСТ, мкмоль/(с×л)	0,20-0,32[5]	0,20±0,01	0,10±0,002**	0,21±0,01
АЛТ, мкмоль/(с×л)	0,10-0,29[5]	0,03±0,004	0,12±0,02***	0,01±0,004**
Креатинин, мкмоль/л	88-177, [41]	82,42±5,24	100,25±4,74*	88,14±5,23
Кальций общий, ммоль/л	2,5-3,11 [7]	2,41±0,04	2,24±0,07*	2,20±0,08*
Фосфор неорганический, ммоль/л	1,45-2,10 [5]	2,22±0,05	1,97±0,16	1,97±0,17
Общий белок, г/л	60-85, [41]	82,49±3,13	80,08±2,03	74,35±2,33*
Альбумин, %	35-50, [41]	43,95±1,08	48,60±1,42*	50,26±1,38***
альфа-глобулин,%	10-20, [41]	9,96±0,71	10,80±0,5	10,54±0,55
бета-глобулин, %	10-18, [41]	19,52±0,91	19,52±0,76	17,99±1,19
гамма-глобулин,%	25-40, [41]	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

[7] Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник / Под ред. проф. И. П. Кондрахина. – М.: КолосС, 2004. – 520 с

Под влиянием поглощенной дозы 1,33 мГр/год в крови коров содержание креатинина увеличилось на 17,83 мкмоль/л или 21%, при дозе 1,55 мГр/год наблюдался рост показателя на 5,72 мкмоль/л или 7%. Рост концентрации креатинина объясняется стимулирующим действием малых доз на эндокринную систему организма, в частности на щитовидную железу. Это воздействие приводит к увеличению выработки креатинфосфокиназы, что в конечном итоге потенцирует образование креатинина клетками мышечной ткани. Возможно увеличение креатинина обусловлено увеличением концентрации креатина, который кроме энергетической функции в клетках мышечной ткани выполняет роль антиоксиданта. Существуют данные, подтверждающие антиоксидантное действие креатина при малых дозах ионизирующего излучения, в работе Нерсесовой Л.С. с соавторами отмечено, что креатин оказывает защитное действие на систему креатин-креатинкиназа, уменьшает повреждающие действие ионизирующего излучения (доза 450мГр) и стимулирует адаптационные свойства [145].

Содержание общего белка в сыворотке крови животных, находящихся под воздействием малых доз, ниже, чем в контрольной группе. При дозе 1,33 мГр/год выявлена тенденция к уменьшению концентрации общего белка на 2,42 г/л или 3% от значений контроля. При воздействии поглощенной дозы 1,55 мГр/год содержание общего белка снижалось на 8,14 г/л или 10% ($P<0,05$) относительно данных контрольной группы (0,92 мГр/год).

При воздействии субклинических доз ионизирующего излучения на организм животных происходило перераспределение относительного содержания альбуминов и глобулинов, что характеризовалось увеличением уровня альбуминов и уменьшением глобулинов за счет гамма-глобулинов.

Относительное содержание альбуминов в крови животных при малых дозах увеличивалось. При поглощенной дозе 1,33 мГр/год содержание альбуминов выросло на 10,62% ($P<0,05$), а при дозе 1,55 мГр/год – на 14,36 % ($P<0,001$) относительно данных контроля.

Содержание альфа и бета-глобулинов в крови животных во всех группах принадлежало своему диапазону изменчивости и статистически не отличалось от значений контроля. В содержании гамма-глобулинов установлено отличие от контроля. Низкодозовое ионизирующее воздействие приводило к снижению концентрации гамма-глобулинов в сыворотке крови на 20%. При поглощенной дозе 1,33 мГр/год достоверность различий составила P<0,01, при дозе 1,55 мГр/год – P<0,05. Снижение содержания гамма-глобулинов расценивалось нами как свидетельство уменьшения иммунобиологической реактивности организма животных.

Таким образом, ионизирующее излучение в малых дозах (1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год) влияло на гематологические показатели, функциональное состояние фагоцитов крови и некоторые 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 в красном костном мозге. Субклинические дозы ионизирующего излучения негативно влияли на функциональные способности фагоцитов крови, подавляя фагоцитарную активность лейкоцитов. Изменения биохимических показателей сыворотки крови коров 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, а также изменение концентрации АЛТ и АСТ.

3.5.3 Морфобиохимические изменения в крови овец при субклинических дозах облучения

Исследование морфобиохимических и иммунологических показателей крови мелкого рогатого скота (овец), проведено в агробиоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр/год и 1,55 мГр/год. У овец, выращиваемых на

территориях с годовой поглощённой дозой 1,55 мГр/год, установлены достоверные изменения ряда показателей крови (таблица 3.5.4).

Гематологические показатели. В периферической крови овец, находящихся под действием поглощенной дозы 1,55 мГр/год, выявлено увеличение количества лейкоцитов почти на 21%, то есть в среднем на $1,35\times10^9$ клеток/л (P<0,01). Абсолютное содержание эритроцитов в этой группе выросло на $1,53\times10^{12}$ клеток/л или на 29% (P<0,05) относительно контрольной группы (0,92 мГр/год). Увеличение количества лейкоцитов и эритроцитов, по нашему мнению, обусловлено стимулирующим влиянием малых доз ионизирующего излучения на органы гемопоэза у овец.

Таблица 3.5.4 – Гематологические показатели периферической крови овец при малых поглощенных дозах облучения

Гематологические показатели	Референсные значения	Поглощенная доза, мГр/год	
		0,92 (n=31)	1,55 (n=18)
Лейкоциты, $\times10^9$ клеток/л	6,4-10,00, [12]	6,48±0,28	7,83±0,40**
Гемоглобин, г/л	54-80, [12]	73,61±6,10	59,06±2,90*
Гематокрит, %	25-45, [12]	22,99±2,67	18,63±1,70
Эритроциты, $\times10^{12}$ клеток/л	6,0-12,00, [12]	5,25 ± 0,38	6,78±0,51*
СОЭ, мм/час	0,3-1,0 [12]	0,22 ±0,02	0,51±0,11*

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

Воздействие малых доз ионизирующего излучения вызвало снижение уровня гемоглобина. При поглощенной дозе 1,55 мГр/год количество гемоглобина в периферической крови овец сократилось на 14,55 г/л или на 19,8% по сравнению с контрольной группой (P<0,05), аналогичное снижение показателей гемоглобина при дозе 1,55 мГр/год наблюдалось у коров. Это сопровождалось снижением показателей гематокрита на 19-22%. К

негативным последствиям влияния субклинических доз в 1,55 мГр/год можно отнести повышение вязкости крови т.е. достоверное увеличение СОЭ в пробах крови овец в 2,3 раза относительно фоновых показателей (P<0,05).

Малые дозы ионизирующего облучения влияли на лейкоцитарный профиль крови овец (таблица 3.5.5). Абсолютное и относительное содержание эозинофилов в крови овец, находящихся при воздействии облучения в дозе 1,55 мГр/год, снизилось на $0,14\times10^9$ клеток/л или более чем 48% соответственно (P<0,001). Аналогичная закономерность наблюдалась в отношении моноцитов. Абсолютное количество моноцитов сократилось на $1,02\times10^9$ клеток/л, или в 1,5 раза, а относительное содержание – на 34,6% по сравнению с данными контрольной группы (P<0,001).

При воздействии дозы облучения 1,55 мГр/год в крови животных развивался лимфоцитоз, что характеризовалось увеличением относительного содержания лимфоцитов на 24,7% по сравнению с контрольными данными (P<0,05).

Под влиянием малых доз ионизирующего излучения в дозе 1,55 мГр/год в популяции лейкоцитов увеличилось абсолютное и относительное содержание юных форм нейтрофилов более чем в два раза по сравнению с дозой 0,92 мГр/год (P<0,001). Содержание палочкоядерных нейтрофилов при субклинической дозе возросло в 1,3 раза (P<0,05), при одновременном снижении числа сегментоядерных нейтрофилов в 1,4 раза по сравнению с контрольными значениями, полученными при поглощенной дозе 0,92 мГр/год (P<0,05).

Увеличение содержания незрелых форм нейтрофилов свидетельствует о сдвиге лейкоцитарного профиля периферической крови овец влево и выбросе из костного мозга незрелых форм нейтрофилов. Изменение относительного содержания разных форм нейтрофилов у овец при малых поглощенных дозах идентично изменениям у крупного рогатого скота при воздействии субклинических доз (раздел 3.5.2).

Таблица 3.5.5 – Лейкоцитарный профиль периферической крови овец при субклинических дозах облучения

Клетки крови		Поглощенная доза, мГр	
		0,92 (n=31)	1,55 (n=18)
Лейкограмма, %			
Базофилы[8]		1,67±0,12	1,00±0,01
Эозинофилы[7]		6,35±0,39	3,28±0,36***
Нейтрофилы	Ю[7]	1,35±0,11	2,78±0,35***
	П[7]	4,09±0,36	5,28±0,41*
	С[7]	41,41±2,92	29,89±4,42*
Лимфоциты[7]		44,95±3,10	56,06±4,51*
Моноциты[7]		2,14±0,25	1,40±0,12***
Количество клеток, $\times 10^9$ клеток/л			
Базофилы		0,11±0,01	0,08±0,01*
Эозинофилы		0,40±0,02	0,26±0,03***
Нейтрофилы	Ю	0,09±0,01	0,22±0,03***
	П	0,22±0,01	0,41±0,03***
	С	2,63±0,13	2,35±0,35***
Лимфоциты		2,90±0,16	4,40±0,34***
Моноциты		0,13±0,02	0,11±0,01

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

Субклинические дозы ионизирующего излучения не влияли на содержание базофильных гранулоцитов в крови овец. При дозе 1,55 мГр/год уровень базофилов сократился на 40%. Однако контрольные значения этого показателя имели значительные индивидуальные колебания, что привело к

[8] 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% [12].

формированию одного статистического диапазона изменчивости. Абсолютное количество базофилов имело достоверные межгрупповые отличия. При дозе 1,55 мГр/год установлено снижение количества базофилов на $0{,}03\times10^9$ клеток/л т.е. на 72,7% ($P<0{,}05$).

Важное значение в оценке функционального состояния лейкоцитов имеют показатели их фагоцитарной активности. На рисунке 3.5.3 представлена микрокартина (увеличение ×600) фагоцитоза. Фагоцитарный индекс лейкоцитов у овец при дозе 1,55 мГр/год составил 24,47±3,34% (рисунок 3.5.4), что на в 1,6 раза ниже, чем у животных при дозе облучения 0,92 мГр/год ($P<0{,}01$). Это свидетельствует, по нашему мнению, о негативном влиянии субклинических доз облучения на функциональные возможности фагоцитов крови, которые являются основными клетками, реализующими неспецифическую резистентность организма.

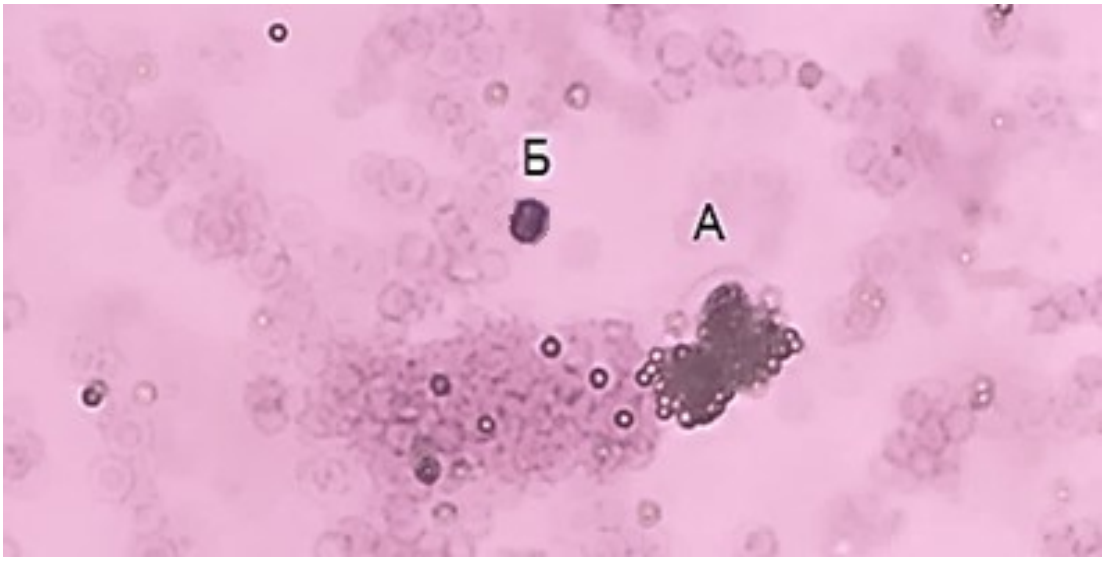


Рисунок 3.5.3 – Фагоцитоз частиц латекса лейкоцитами крови овец: А – частицы латекса в цитоплазме лейкоцитов; Б – лимфоциты. Камера Горяева. Окраска генцианвиолетом, ув. ×600

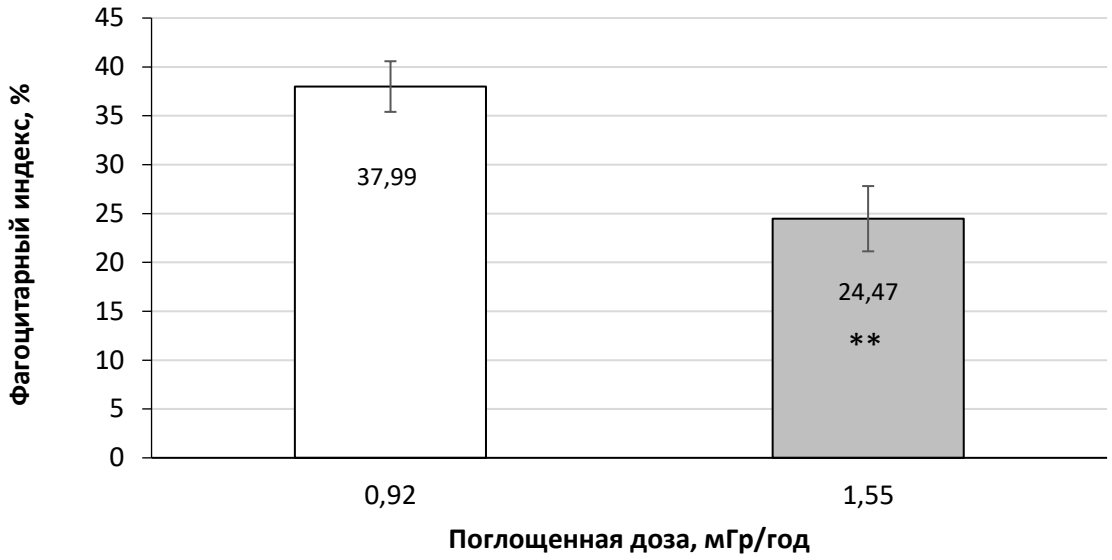


Рисунок 3.5.4 – Фагоцитарный индекс лейкоцитов периферической крови овец при субклинических дозах облучения: ** P<0,01 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Биохимические показатели периферической крови отражают функциональную активность органов и систем организма, участвующих в обмене веществ и сохранении гомеостаза организма. Биохимические показатели периферической крови овец при поглощенных дозах 0,92 мГр/год и 1,55 мГр/год приведены в таблице 3.5.6.

При воздействии поглощенной дозы в 1,55 мГр/год в периферической крови овец уменьшается содержание щелочной фосфатазы на 922,47 нмоль/с×л или на 57,2% относительно данных контроля (P<0,05). Малые дозы увеличивают концентрацию кальция в плазме крови на 0,39 ммоль/л или в 1,2 раза относительно контрольной величины (P<0,05). По нашему мнению, уменьшение концентрации щелочной фосфатазы и увеличение уровня кальция в крови указывают на снижение функциональных возможностей печени и щитовидной железы.

В крови животных при поглощенной дозе 1,55 мГр/год регистрируется снижение содержания аспартатаминотрансферазы (АСТ) на 0,07 мкмоль/с×л или на 21,2% по сравнению с данными контроля (P<0,05). Кроме того,

установлена тенденция роста концентрации аланинаминотрансферазы (АЛТ) в два раза. Однако значительные колебания индивидуальных показателей приводят к высоким значениям стандартного отклонения и снижают статистическую достоверность сравниваемых величин.

Таблица 3.5.6 – Биохимические показатели периферической крови овец при малых поглощенных дозах ионизирующего излучения

Биохимические показатели	Референсные значения[9]	Поглощенная доза, мГр/год	
		0,92 (n=31)	1,55 (n=18)
Резервная щелочность мг%	450-540	429,93 ±7,93	450,00±13,78
Щелочная фосфатаза, нмоль/с×л	2421,67±283	2156,24±360,77	1233,77±226,92*
АСТ, мкмоль/(с×л)	0,32±0,07	0,33±0,02	0,26±0,02*
АЛТ, мкмоль/(с×л)	0,19±0,06	0,02±0,01	0,04±0,01
Креатинин, мкмоль/л	126,04±10,7	93,99±3,99	72,78±3,36**
Кальций общий, ммоль/л	2,38-3,38	2,04±0,12	2,43±0,09*
Фосфор неорганический, ммоль/л	1,45-2,48	1,96±0,09	2,02±0,12
Общий белок, г/л	66,15±1,28	58,56±4,99	75,54±3,12**
Альбумин, %	35-50	49,97±2,19	47,41±2,40
альфа-глобулин,%	11-20	8,17±0,48	9,40±0,53
бета-глобулин, %	7-11	12,98±0,81	12,68±0,42
гамма-глобулин,%	20-46	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

[9] Эльгайтаров, В. А. Биохимические и иммуногенетические параметры крови в прогнозировании продуктивности овец и коз: дис. канд. биол. наук: 03.00.04 / Эльгайтаров Вадим Арсланалиевич.– Краснодар, 2003. – 171 с.

При воздействии дозы в 1,55 мГр/год в крови овец уменьшается содержание креатинина на 21,21 мкмоль/л или на 22,6 % относительно данных контроля (P<0,01). Количество общего белка в крови животных, находящихся под воздействием малых доз, превышает показатели контроля на 16,98 г/л или на 29 % (P<0,01). В то же время относительное содержание альбуминов и глобулинов в контрольной и опытной группах находится в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличается. Субклиническая доза в 1,55 мГр/год не влияет на показатели резервной щелочности крови.

Таким образом, ионизирующее излучение 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- 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 указывает 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 ионизирующего излучения не вызывают в организме животных видимых изменений клинического состояния или критически значимых сдвигов морфобиохимических показателей крови, о чем свидетельствуют результаты наших исследований. Однако, существует хемилюминесцентный 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 ионизирующего излучения оценено хемилюминесцентным методом по кинетике спонтанной и антигенактивированной «in vitro» частицами латекса продукции активных форм кислорода (АФК). Наиболее значимыми показателями активности генерации свободных радикалов кислорода являются: время достижения максимума хемилюминесценции при формировании первого (Tmax I, мин.) и второго (Tmax II, мин.) пиков хемилюминесцентной кривой; максимальная интенсивность первого (Imax I, имп./с) и второго (Imax II, имп./с) пиков генерации АФК; 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 хемилюминесценции (ХЛ).

Кинетика генерации первичных и вторичных радикалов клетками венозной крови коров во всех группах характеризовалась двумя пиками максимальной активности и имела специфические особенности при различной дозовой нагрузке (рисунки 3.5.5 и 3.5.6). Первый пик максимальной интенсивности спонтанной генерации первичных (люцигенинзависимых) АФК клетками крови, находящимися в состоянии «покоя», при дозе облучения 1,33 мГр/год превышал контрольные значения, а при дозе 1,55 мГр/год незначительно отставал от них (рисунок 3.5.5 А). Последующее снижение интенсивности ХЛ-реакции наблюдалось во всех группах на 58-78 мин., однако наиболее ярко это проявилось при дозе 1,55 мГр/год.

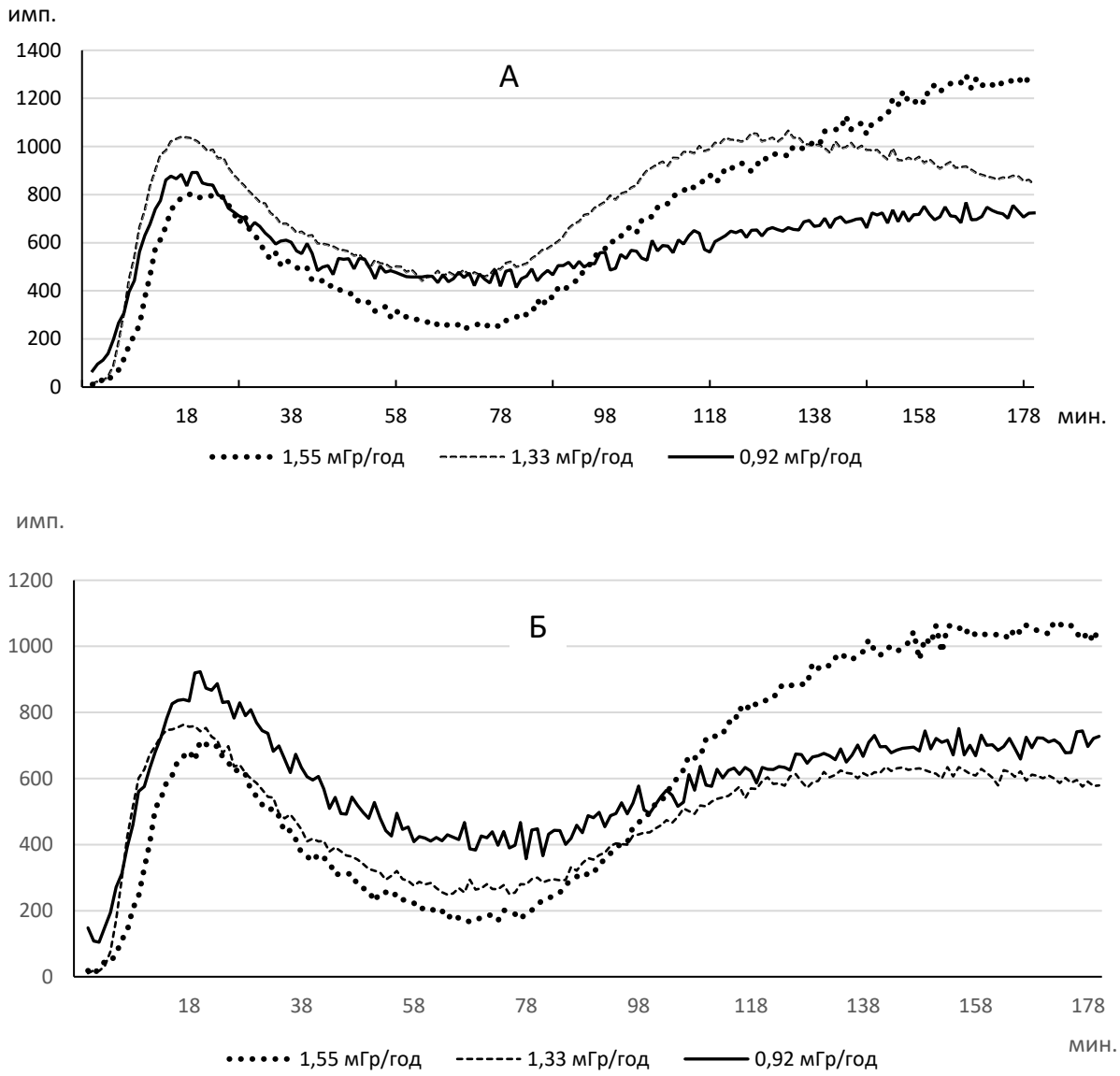
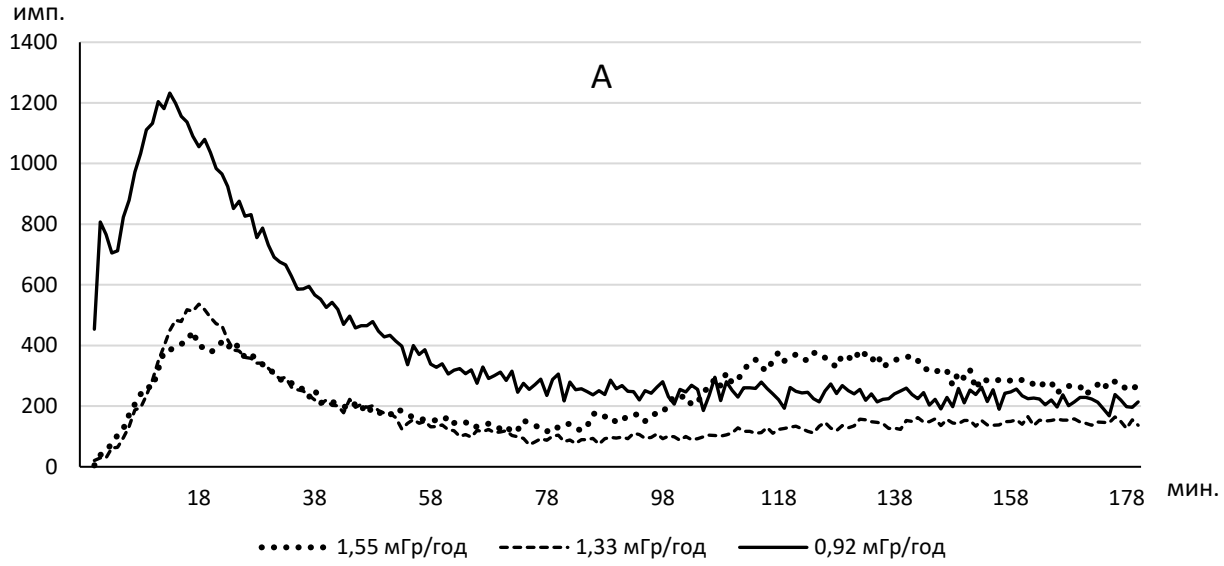


Рисунок 3.5.5 – Кинетика спонтанной (А) и активированной (Б) генерации первичных люцигенинзависимых АФК клетками крови коров при субклинических дозах ионизирующего излучения

Второй пик активности спонтанной продукции первичных радикалов характеризовался выраженной дозовой зависимостью и превышал показатели контроля при дозе ионизирующего излучения 1,33 мГр/год и, особенно, при дозе 1,55 мГр/год. Аналогичные закономерности наблюдались при генерации свободных радикалов клетками крови, активированными частицами латекса (рисунок 3.5.5 Б).

Второй пик спонтанной и активированной генерации АФК клетками крови животных при дозе 1,55 мГр/год заметно выше вторых пиков при дозах 0,92 мГр/год и 1,33 мГр/год (рисунок 3.5.5).



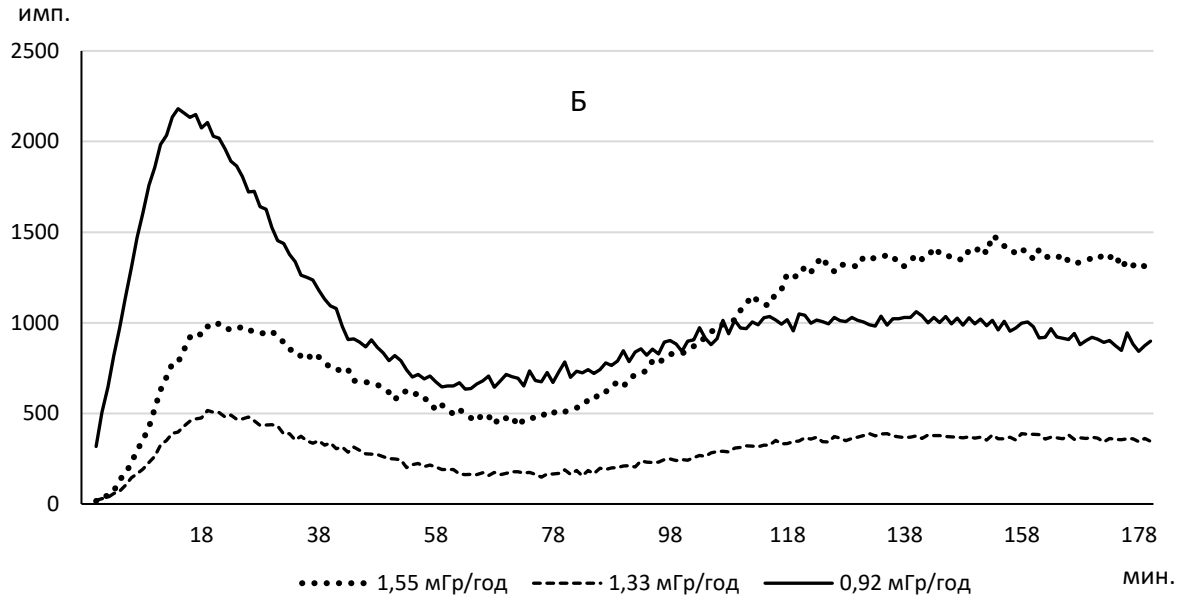


Рисунок 3.5.6 – Кинетика спонтанной (А) и активированной (Б) генерации вторичных (люминолзависимых) АФК клетками крови коров

Кинетика образования вторичных (люминолзависимых) кислородных радикалов отличалась от кинетики генерации люцигенинзависимых 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 (рисунок 3.5.6), что свидетельствовало о подавлении свободнорадикальных процессов, связанных с генерацией вторичных (люминолзависимых) АФК.

Время достижения максимума ХЛ (Tmax I, Tmax II, мин.). У животных при различной дозовой нагрузке облучения время достижения максимума хемилюминесценции имело два пиковых значения (Tmax I и Tmax II). Нами установлено, что при генерации первичных люцигенинзависимых радикалов показатели времени достижения максимума ХЛ не зависели от дозовой нагрузки ионизирующего излучения как при спонтанной, так и при антигенстимулированной реакции. Показатели Tmax I спонтанной ХЛ в среднем составили 35,95±4,47 мин., а значения Tmax II достигли 148,14±3,69 мин (таблица 3.5.7). Стимуляция клеток крови частицами латекса не вызвала ожидаемого ускорения ХЛ реакции. При антигенактивированной генерации первичных радикалов время регистрации первого и второго пика приходилось на 35,32±4,57 мин. и 141,61±4,18 мин. записи ХЛ-кривой соответственно.

При спонтанной люминолзависимой ХЛ-реакции воздействие малых поглощенных доз (1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год) обусловило значительное замедление времени формирования пиков продукции АФК. При дозе 1,33 мГр/год торможение первого пика ХЛ-реакции составило 42% ($P<0,05$), второго пика – 12% ($P<0,01$) относительно контроля. При дозе 1,55 мГр/год замедление показателей Tmax I достигло 44% ($P<0,05$), а Tmax II – 11% относительно фоновых величин ($P<0,01$). Нами не установлено статистически значимого влияния разных доз поглощенной радиации на показатели времени достижения максимума при активированной продукции вторичных АФК. У контрольных животных показатели первого пика Tmax I при спонтанной продукции вторичных люминолзависимых радикалов зарегистрированы на 19,95±1,94 мин, второго пика Tmax II – на 129,79±4,04 мин. (табл. 3.5.7).

Таблица 3.5.7 – Время достижения максимума генерации вторичных АФК клетками крови коров при субклинических дозах облучения

Поглощенная доза, мГр/год	Количество голов	Tmax I, мин.	Tmax II, мин.
Спонтанная генерация АФК			
0,92	41	19,95±1,94	129,79±4,04
1,33	38	28,30±3,15*	144,97±3,90**
1,55	31	28,81±3,90*	143,43±2,99**
Активированная генерация АФК			
0,92	41	26,88±3,48	121,60±3,49
1,33	38	27,68±3,49	130,35±4,08
1,55	31	33,04±5,24	129,87±3,52

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

Таким образом, при действии малых поглощенных доз радиации клеткам периферической крови лактирующих коров в состоянии покоя требуется больше времени на формирование респираторного взрыва, что может негативно влиять на неспецифическую резистентность организма.

Максимальная интенсивность ХЛ (Imax I и Imax II, имп./с).

Низкие поглощенные дозы облучения вызывали колебания максимальной интенсивности ХЛ-реакции при образовании первичных АФК. Значения амплитуд первого максимума (Imax I, имп./с) спонтанной генерации первичных люцигенинзависимых радикалов в крови у животных при субклинических дозах и при фоновых значениях находились в одном диапазоне изменчивости и статистически не различались (табл. 3.5.8). Амплитуда второго максимума (Imax II) спонтанной генерации первичных радикалов в крови при субклинических дозах выше, чем при фоновых значениях поглощенной дозы (0,92 мГр/год). При дозе 1,55 мГр/год

регистрировалось увеличение в 1,4 раза (P<0,05), при дозе 1,33 мГр/год – в 1,9 раза (P<0,001).

Таблица 3.5.8 – Максимальная интенсивность продукции первичных АФК клетками крови коров при разных дозах облучения, Imax , имп./с

Поглощенная доза, мГр/год	Количество голов	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
Спонтанная генерация АФК			
0,92	41	920,90±129,29	704,07±61,28
1,33	38	1223,68±209,06	1006,79±114,07*
1,55	31	962,52±146,82	1380,96±143,27***
Активированная генерация АФК			
0,92	41	953,59±89,89	893,05±73,2
1,33	38	1150,58±232,06	751,71±63,55
1,55	31	880,91±98,71	1113,09 ±128,49

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

При введении частиц латекса «in vitro» в пробы периферической крови коров (активированная продукция первичных АФК), содержащихся при поглощенной дозе в 0,92 мГр/год, наблюдалось увеличение показателей максимальной интенсивности второго пика в 1,3 раза по сравнению со спонтанной ХЛ-реакции. В крови животных при воздействии малых доз выявлена тенденция к снижению высоты пиков антигенактивированной генерации первичных АФК. При дозе 1,33 мГр/год установлена тенденция к понижению максимальной интенсивности первого пика на 10%, второго – на 30% относительно спонтанной генерации. При воздействии дозы в 1,55 мГр/год наблюдалось снижение максимальной интенсивности Imax I в 1,1 раза и Imax II – в 1,2 раза относительно спонтанной генерации при этой же дозе.

Различная дозовая нагрузка вызывала разнонаправленные изменения показателей максимальной интенсивности ХЛ-реакции. При дозе облучения 1,33 мГр/год значения Imax I спонтанной генерации вторичных радикалов статистически не отличались от контроля (0,92 мГр/год). При поглощенной дозе 1,55 мГр/год выявлено снижение амплитуды I max I на 62% (P<0,05) в сравнении со значениями, полученными при фоновых дозах (рисунок 3.5.7). Нами установлено достоверное увеличение второго максимума интенсивности (Imax II, имп./с) в 2,3 раза при спонтанной генерации вторичных радикалов под влиянием субклинических доз, при дозе 1,33 мГр/год (P<0,01) и при дозе 1,55 мГр/год (P<0,001) относительно контрольных значений.

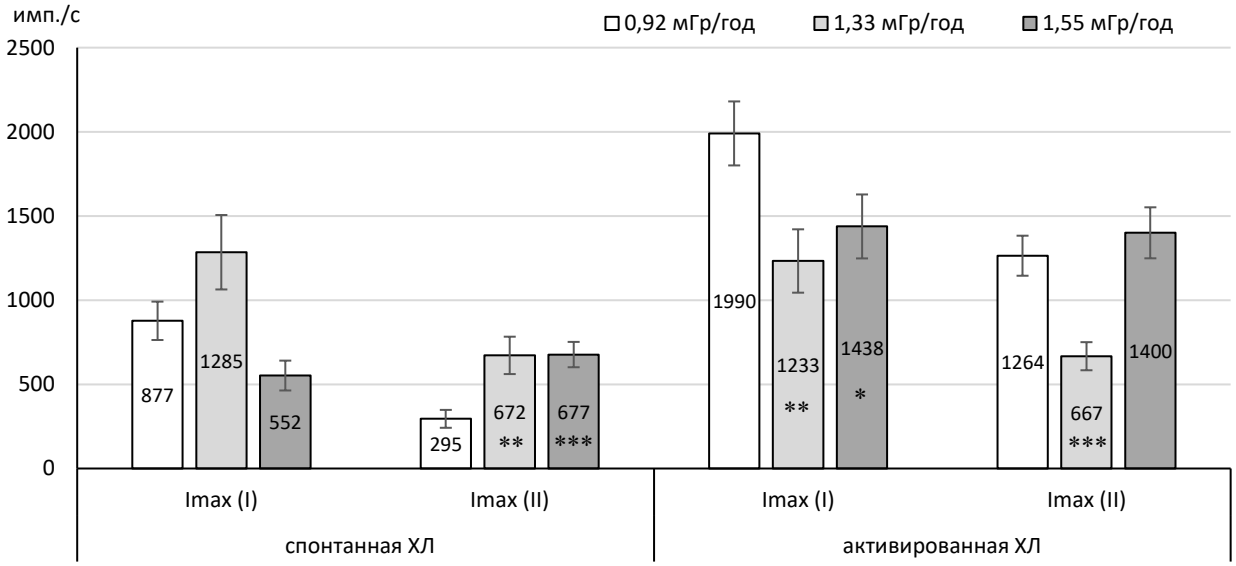


Рисунок 3.5.7 – Максимальная интенсивность (Imax I, Imax II) генерации вторичных АФК клетками крови коров при разных дозах ионизирующего излучения (имп./с): * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Субклинические дозы облучения (1,33 и 1,55 мГр/год) негативно влияли на показатели максимальной активности при стимулированной частицами латекса генерации люминолзависимых АФК. Амплитуда первого максимума

(Imax I, имп./с) активированной продукции АФК при дозе 1,33 мГр/год ниже данных контрольной группы (0,92 мГр/год) на 39% (P<0,01), а при дозе 1,55 мГр – на 28%. Амплитуда второго максимума (Imax II) при дозе 1,33 мГр/год снижалась на 47% по сравнению с данными, полученными при фоновых значениях поглощенных доз. При дозе 1,55 мГр/год амплитуда Imax II превысила контрольные величины более чем на 10%, а при дозе 1,33 мГр/год – в 2,1 раза (P<0,01).

Таким образом, в процессе генерации первичных радикалов увеличивалась максимальная интенсивность второго максимума спонтанной генерации, снижалась максимальная активность антигенактивированной генерации. В ходе образования вторичных радикалов при действии малых поглощенных доз радиации снижалась максимальная интенсивность первого пика спонтанной и активированной генерации и увеличивалась амплитуда второго максимума. Низкая максимальная интенсивность респираторного взрыва в первые минуты спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов является доказательством низкой реактивности клеток крови, что значительно снижает естественную резистентность организма.

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). Субклинические дозы ионизирующего излучения вызывали рост суммарных объемов АФК при спонтанной продукции всех видов свободных кислородных радикалов 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 фоновые показатели (0,92 мГр/год). 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.

Малые дозы облучения негативно влияли на показатели суммарной продукции антигенактивированных АФК по сравнению с контролем. При фоновой дозе облучения 0,92 мГр/год стимуляция фагоцитов крови частицами

латекса обусловила достоверный рост суммарных объемов свободных радикалов на 1,8 млн. имп. за 180 мин. или в 1,3 раза относительно спонтанной продукции АФК (P<0,05). В тоже время при дозе 1,33 мГр/год наблюдалось сокращение антигенактивированной генерации первичных радикалов на 2,22 млн. имп. за 180 мин. или в 1,4 раза по сравнению со спонтанной продукцией (P<0,05). При поглощенной дозе 1,55 мГр/год также зафиксировано снижение объемов активированных первичных радикалов на 1,55 млн. имп за 180 мин. или на 18 % по сравнению со спонтанной ХЛ при этой дозе (рисунок 3.5.8).

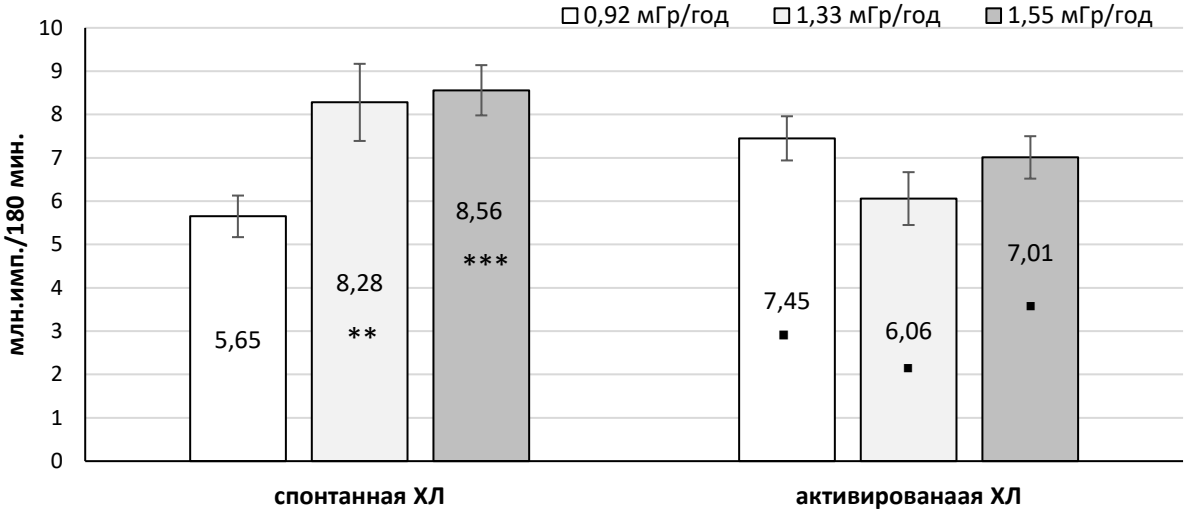


Рисунок 3.5.8 – Светосумма люцигенинзависимых АФК, продуцированных клетками крови коров: ** P<0,01; *** P<0,001 относительно поглощенной дозы 0,92 мГр/год; ▪ P<0,01 относительно спонтанной продукции

Суммарное количество вторичных АФК, генерирующихся при спонтанной ХЛ-реакции в крови коров, при субклинических дозах достоверно выше по сравнению с фоновыми значениями. При воздействии поглощенной дозы 1,33 мГр/год спонтанная суммарная продукция люминолзависимых радикалов увеличилась на 2,63 млн. имп. за 180 мин. или в 1,8 раза (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год рост показателя составил 2,91 млн. имп. за 180 мин. или в 1,4 раза (P<0,01) по сравнению с данными контроля.

Антигенная активация клеток крови «in vitro» частицами латекса потенцировала прооксидантные реакции при генерации вторичных

люминолзависимых АФК, о чем свидетельствовал рост суммарных объемов АФК во всех группах (рисунок 3.5.9). При антигенной стимуляции латексом клеток контрольных проб светосумма свободных радикалов увеличилась на 8,56 млн. имп за 180 мин или 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 активированной генерации вторичных радикалов превышала спонтанную генерацию на 7,32 млн. имп. за 180 мин или 2,7 раза (P<0,001).

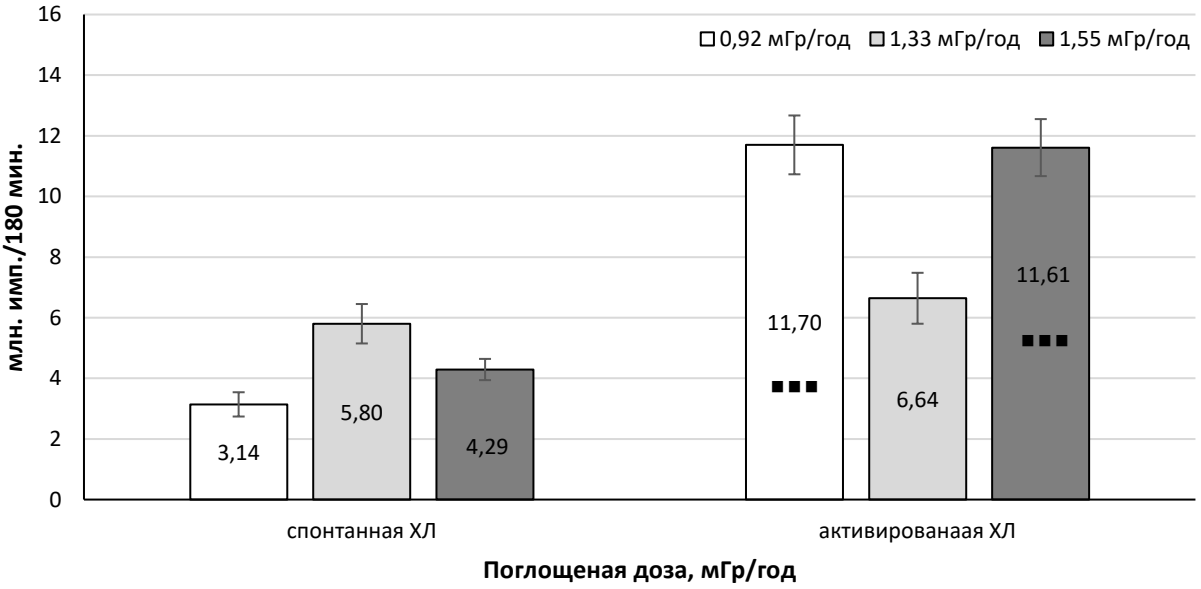


Рисунок 3.5.8 – Светосумма люминолзависимых АФК, генерируемых клетками крови коров при субклинических дозах облучения: **P<0,01; ***P<0,001 относительно поглощенной дозы 0,92 мГр/год; ▪▪▪ P<0,001 относительно спонтанной продукции

Таким образом, субклинические дозы ионизирующего излучения стимулируют интенсивность свободнорадикальных процессов в клетках крови, находящихся в состоянии «покоя» (спонтанная ХЛ), что проявляется ростом суммарных объемов, продуцированных АФК, и подавляют генерацию

свободных кислородных радикалов у клеток, стимулированных латексом, что ведет к снижению показателей светосуммы (активированная ХЛ).

Индекс активации (ИА, усл.ед.). На основании данных о суммарных объемах АФК, полученных при активированной и спонтанной ХЛ-реакции, рассчитан индекс активации (ИА), отражающий потенциальную способность фагоцитов крови к индукции «респираторного взрыва» в ответ на дополнительное антигенное раздражение.

Субклинические поглощенные дозы облучения негативно влияли на показатели ИА при генерации всех форм АФК, о чем свидетельствовало снижение показателей ИА при образовании первичных и вторичных радикалов (рисунок 3.5.10).

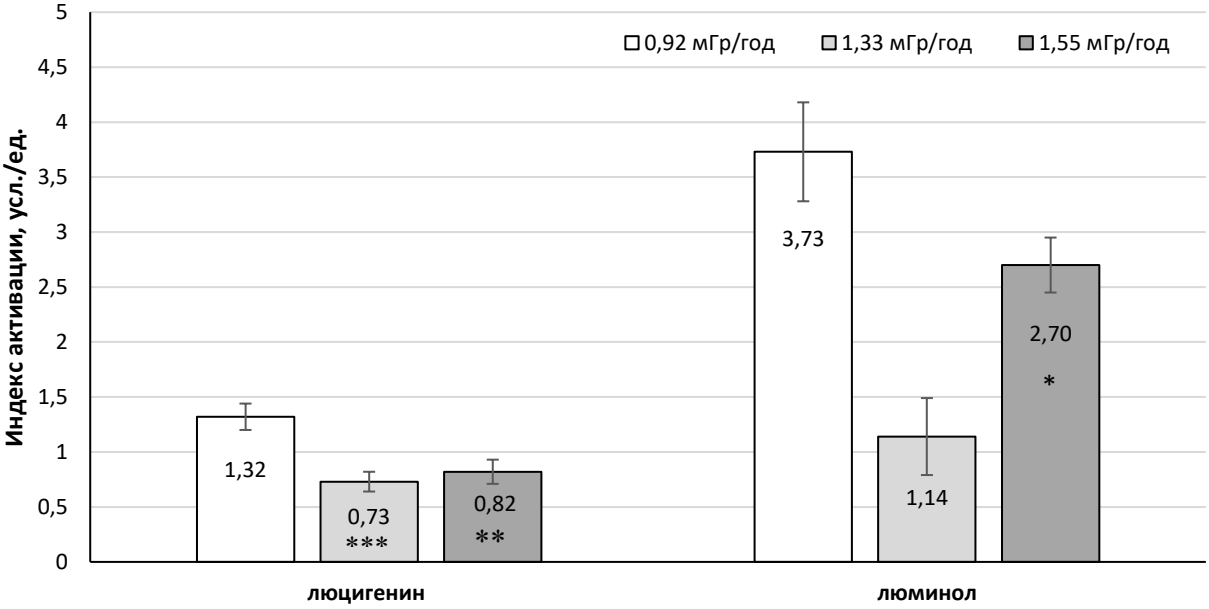


Рисунок 3.5.10 – Индекс активации АФК клетками крови коров при действии малых доз облучения: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 относительно поглощенной дозы 0,92 мГр/год

Показатели ИА первичных (люцигенинзависимых) радикалов при поглощенной дозе 1,33 мГр/год уменьшались на 44,7 % или на 0,59 усл. ед. (P<0,001), при дозе 1,55 мГр/год – на 37,9 % или на 0,5 усл. ед. (P<0,01)

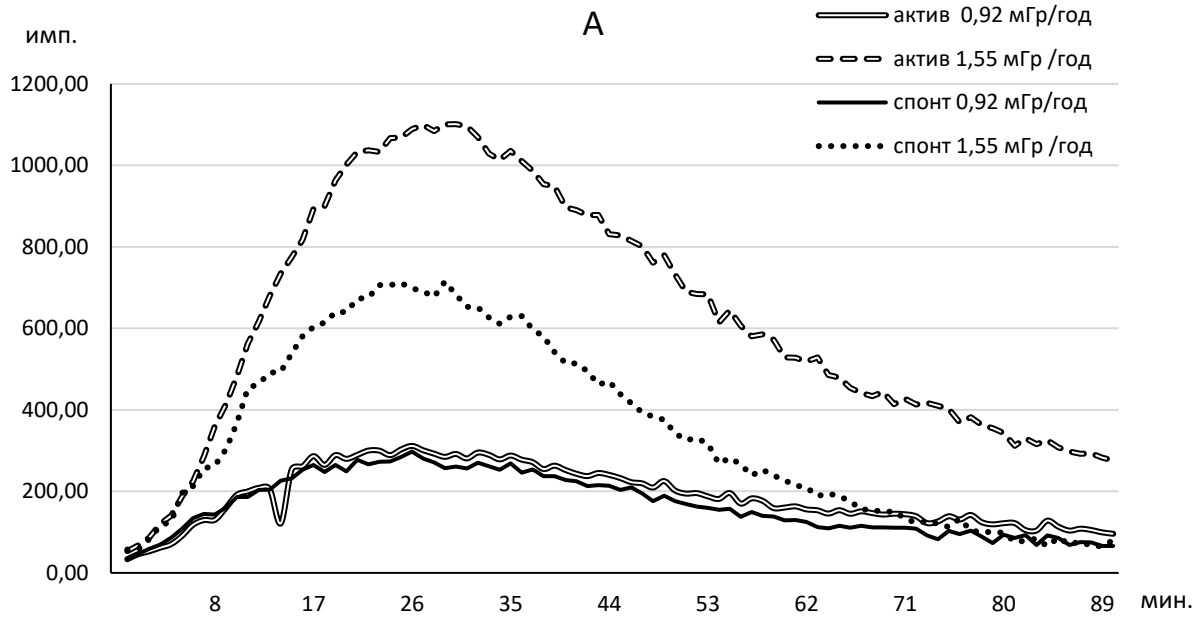
относительно данных контроля (0,92 мГр/год). При генерации вторичных (люминолзависимых) свободных радикалов показатели ИА сократились на 69,4% или на 2,59 усл. ед. при дозе 1,33 мГр/год (P<0,001)*** и на 27,6% или на 1,03 усл. ед. при дозе 1,55 мГр/год (P<0,05). При действии малых доз ионизирующего излучения снижался индекс активации процесса образования первичных и вторичных радикалов, что указывало на снижение резервных возможностей лейкоцитов крови.

Таким образом, субклинические дозы ионизирующего излучения разнонаправленно влияют на свободнорадикальные процессы, протекающие в клетках крови, как находящихся в состоянии «покоя» (спонтанная ХЛ), так и стимулированных частицами латекса (активированная ХЛ). При действии малых поглощенных доз радиации 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 ионизирующего излучения увеличивают суммарные объемы спонтанной генерации и снижают продукцию антигенактивированного образования первичных и вторичных радикалов. Большие объемы свободных кислородных радикалов, 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 предсказуемо 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 облучения

Свободнорадикальные процессы, протекающие в клетках крови овец, изучены хемилюминесцентным методом при дозах ионизирующего излучения 0,92 мГр/год и 1,55 мГр/год.

Кинетика генерации свободных радикалов. Графическое изображение генерации первичных и вторичных радикалов у овец в отличие от крупного рогатого скота имеет один пик. Кинетика спонтанной и активированной продукции первичных радикалов при фоновой дозе 0,92 мГр/год представлена в виде пологих кривых. При поглощенной дозе 1,55 мГр/год кинетика спонтанной и антигенактивированной латексом генерации первичных АФК 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 (рисунок 3.5.11 А).



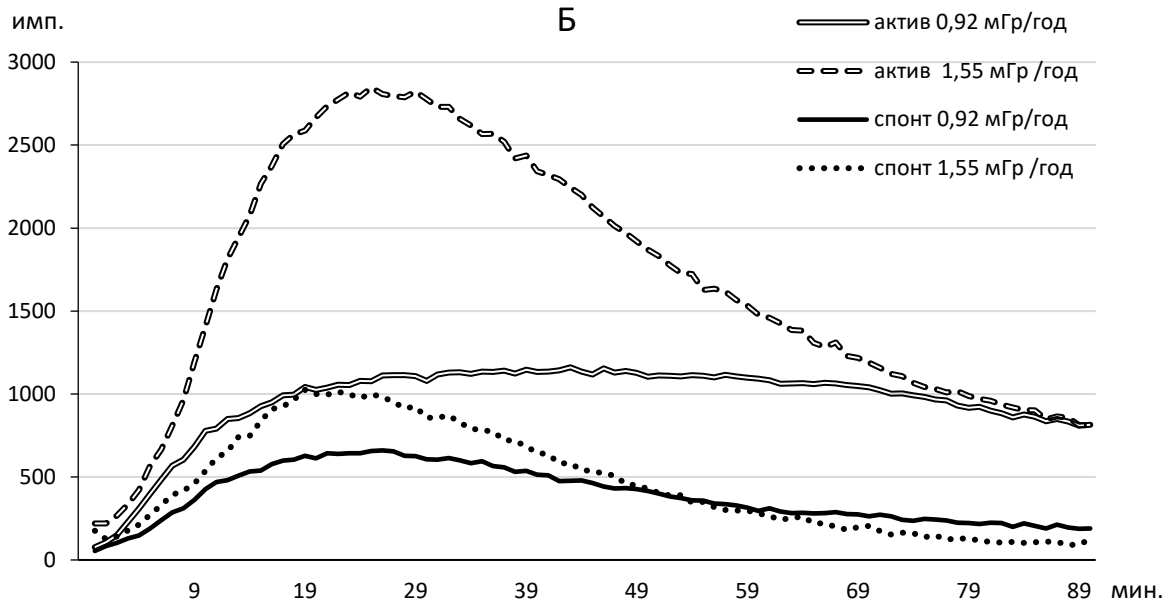


Рисунок 3.5.11. – Кинетика генерации первичных люцигенинзависимых (А), вторичных люминолзависимых (Б) АФК клетками крови овец

Пик кинетики спонтанной продукции вторичных радикалов при дозе 1,55 мГр/год выше, чем при дозе 0,92 мГр/год. Кинетика генерации антигенактивированных радикалов имела аналогичные характеристики. Необходимо отметить, что кривые, отражающие спонтанную и антигенактивированную генерации первичных и вторичных радикалов при фоновых значениях поглощенной дозы, имели пологий характер в отличии от кривых, принадлежащих субклинической дозе – 1,55 мГр/год.

Время достижения максимума ХЛ (Tmax, мин.). Время спонтанного и антигенактивированного образования пиков первичных радикалов в крови у овец, находящихся под воздействием малых доз радиации (1,55 мГр/год) и при действии фоновых значений (0,92 мГр/год), достоверно не отличается. В среднем пик спонтанной генерации приходился на 28,5±1,3 мин, при активации частицами латекса вершина ХЛ кривой фиксировалась на 28,0 ±1,7 мин. независимо от значения поглощенных доз (табл. 3.5.9).

Таблица 3.5.9 – Время (Tmax, мин) достижения максимума генерации первичных и вторичных АФК клетками крови овец при разных дозах ионизирующего излучения

Время (T max), мин	Поглощенная доза, мГр/год	
	0,92 (n=31)	1,55 (n=18)
люцигенинзависимые АФК		
Спонтанная хемилюминесценция	29,00±1,65	27,95±0,98
Активированная хемилюминесценция	28,44±1,86	27,56±1,58
люминолзависимые АФК		
Спонтанная хемилюминесценция	28,77±2,88	19,89±1,29**
Активированная хемилюминесценция	44,81±4,55	24,22±2,52***

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

В крови у овец при поглощенной дозе 1,55 мГр/год показатель времени достижения максимума при продукции вторичных радикалов снижался на 31 % или 8,88 мин. чем в контрольной группе (P<0,01). При активации клеток крови частицами латекса в присутствии люминола самый быстрый выход хемилюминесцентной кривой на максимум продукции вторичных радикалов (24,22±2,52 мин) наблюдался при дозе 1,55 мГр/год. При дозе облучения 0,92 мГр/год антигенактивированный респираторный взрыв достигал своего максимума позже на 20,6 мин, что 2 раза дольше по сравнению с контрольными значениями (P<0,001).

Максимальная интенсивность ХЛ. При дозе облучения 1,55 мГр/год максимальная интенсивность (Imax, имп./с) спонтанной генерации первичных (люцигенинзависимых) радикалов в крови животных в 1,9 раза выше (P<0,001), чем при фоновых значениях поглощенных доз (рисунок 3.5.12). При поглощенной дозе 1,55 мГр/год максимальная интенсивность продукции активированных АФК превышала в 2,3 раза контрольные значения, полученные при дозе 0,92 мГр/год (P<0,01).

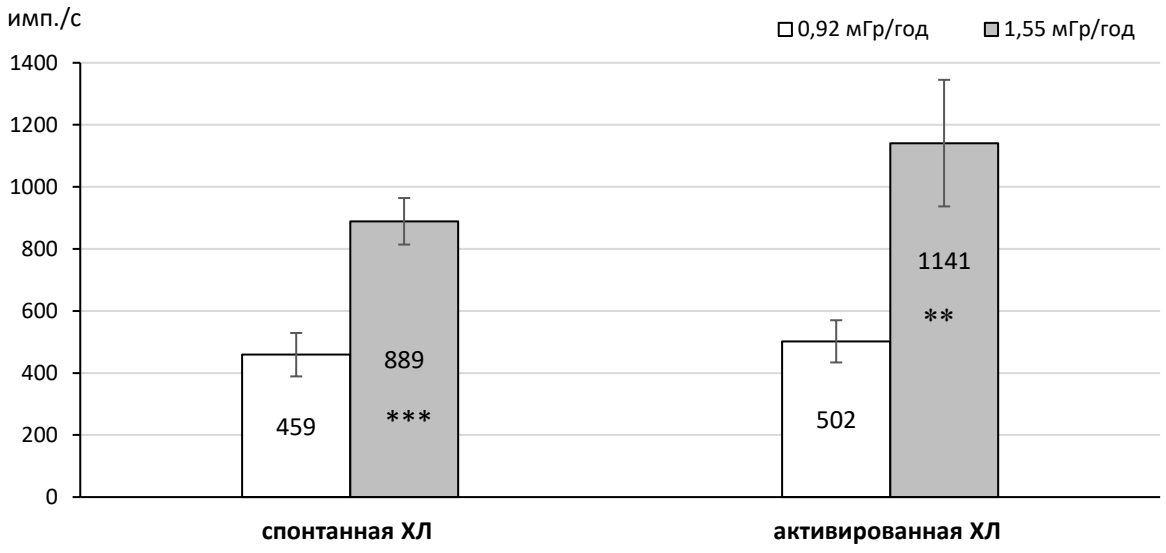


Рисунок 3.5.12 – Максимальная интенсивность генерации первичных АФК клетками крови овец: **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Стимуляция клеток крови овец частицами латекса «in vitro» не приводила к существенному увеличению показателей максимальной интенсивности по сравнению с данными спонтанной ХЛ-реакции при исследованных дозах. Показатели Imax активированной продукции радикалов при фоновых значениях поглощенной дозы возрастали на 9 % или на 43 имп./с, а при дозе 1,55 мГр/год – на 28 % или на 252 исп./с относительно спонтанной генерации.

Максимальная интенсивность спонтанной генерации вторичных радикалов клетками крови животных, находящихся при действии разных доз облучения, статистически не отличалась. Амплитуда максимума активированной хемилюминесценции в крови овец, находящихся при воздействии дозы 1,55мГр/год в 1,9 раза выше или на 1 484 имп./с (P<0,01), по сравнению с данными, полученными при дозе 0,92 мГр/год (рисунок 3.5.13).

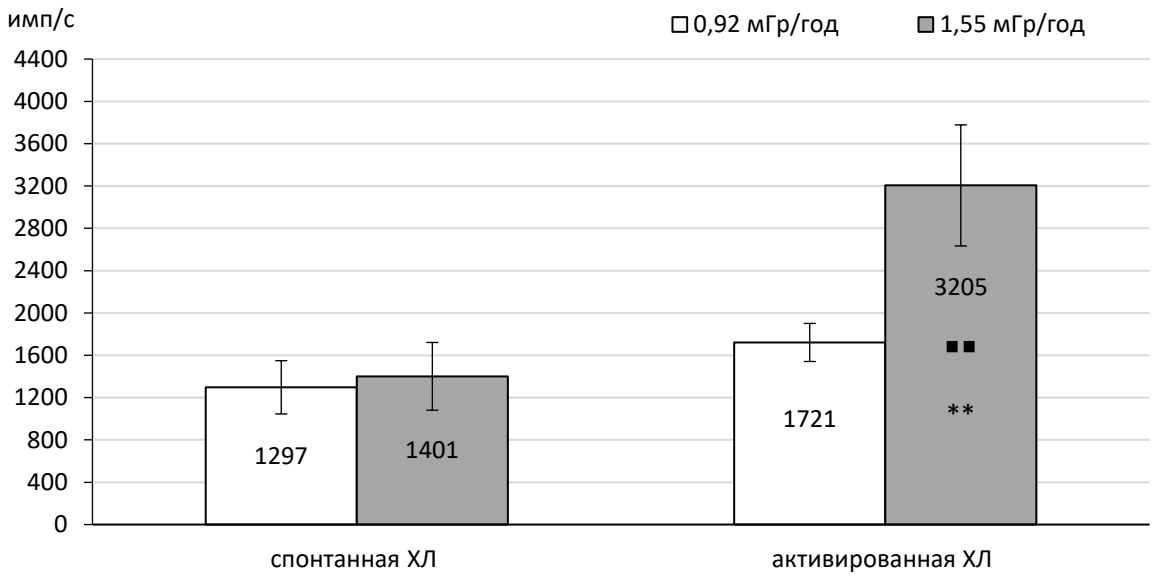


Рисунок 3.5.13 – Максимальная интенсивность генерации вторичных АФК клетками крови овец : **P<0,01 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Показатели Imax активированной продукции радикалов при фоновых значениях поглощенной дозы возрастали на 32 % или на 424 имп./с, а при дозе 1,55 мГр/год – в 2,3 раза или на 1 804 исп./с относительно спонтанной генерации.

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 90 мин.). При дозе облучения 1,55 мГр/год суммарное количество первичных радикалов, спонтанно генерировавшихся за время регистрации ХЛ-реакции в образцах крови овец, на 1 млн. имп./90 мин. или в 1,7 раза превышало данные, полученные при дозе 0,92 мГр/год (P<0,01). При этом совокупный объем антигенактивированных первичных радикалов увеличился в 2 раза (P<0,05), то есть на 1,7 млн. имп/90 мин. относительно контрольных значений (рисунок 3.5.14).

При любой дозе облучения стимуляция клеток крови частицами латекса вызывала рост суммарной продукции АФК. При поглощенной дозе ионизирующего излучения 0,92 мГр/год увеличение светосуммы

люцигенинзависимых радикалов составило 13,7%, а при дозе 1,55 мГр/год – 36,6 % по сравнению со спонтанной генерацией.

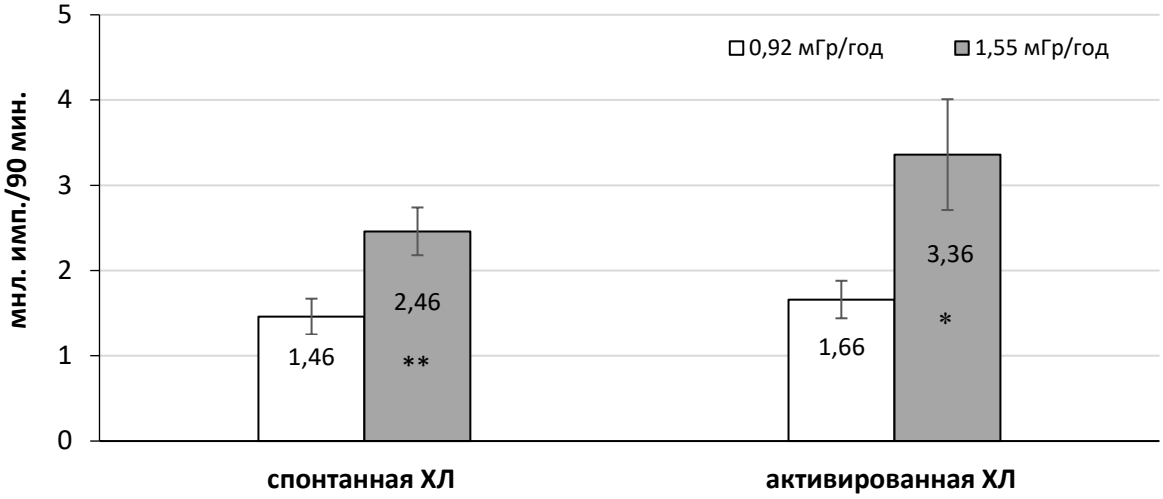


Рисунок 3.5.14 – Светосумма люцигенинзависимых АФК продуцированных клетками крови овец в течении ХЛ-реакции: *P<0,05; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92мГр/год

Суммарное количество вторичных АФК, образованных спонтанно в крови овец не зависело от дозы облучения, находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось. Суммарная антигенактивированная продукция люминолзависимых АФК при дозе 1,55 мГр/год увеличивалась на 50,4% или на 3,46 млн.имп./90 мин (P<0,05) по сравнению с данными контроля (рисунок 3.5.15).

Антигенная стимуляция клеток «in vitro» частицами латекса потенцировала активность прооксидантных реакций. При стимуляции клеток крови частицами латекса продукция активированных АФК увеличивалась относительно спонтанной генерации в 1,8 раза или на 3,09 млн.имп/90мин (P<0,01) при фоновых дозах (0,92 мГр/год), а при субклинической дозе 1,55 мГр/год – в 2,9 раза или на 6,84 млн.имп/90 мин. (P<0,001).

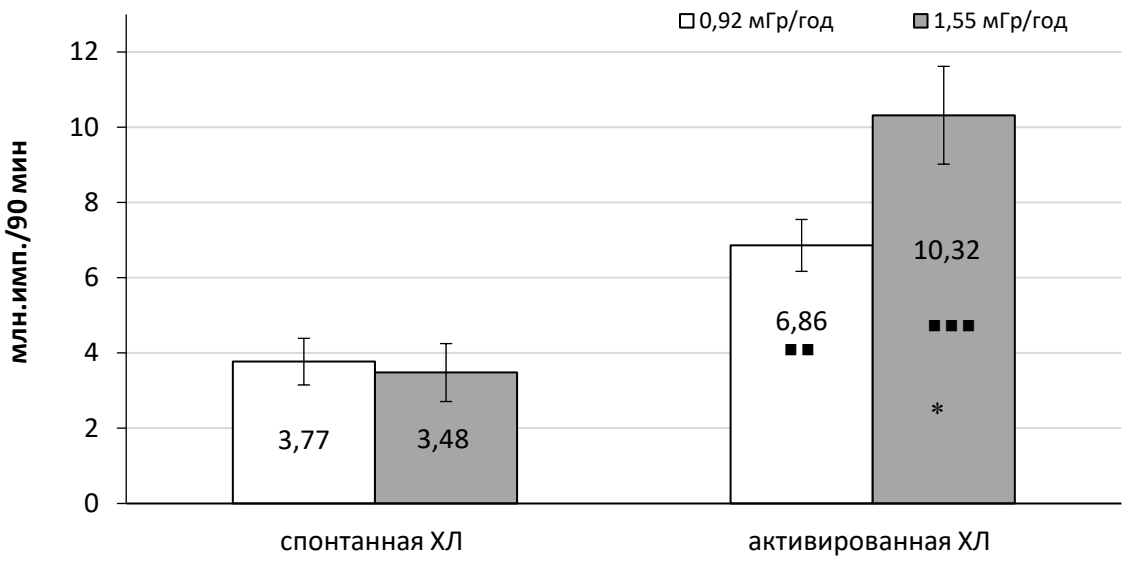


Рисунок 3.5.15 – Светосумма люминол зависимых АФК клетками крови овец: **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к поглощенной дозе 0,92мГр/год; ▪▪ P<0,01 относительно спонтанной продукции ▪▪▪ P<0,001 относительно спонтанной продукции

Индекс активации (ИА) отражает способность фагоцитов крови к генерации АФК в ответ на антигенную стимуляцию «in vitro» (рисунок 3.5.16).

Индекс активации генерации люцигенинзависимых АФК в крови овец при различных поглощенных дозах находился в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличался. Однако при образовании люминолзависимых (вторичных) радикалов наблюдалась зависимость показателей ИА от дозы облучения. При дозе ионизирующего излучения 1,55 мГр/год установлено достоверное повышение ИА на 1,15 усл. ед. или на 63 %, что объясняется стимулирующим действием субклинической дозы на свободнорадикальные процессы в организме овец.

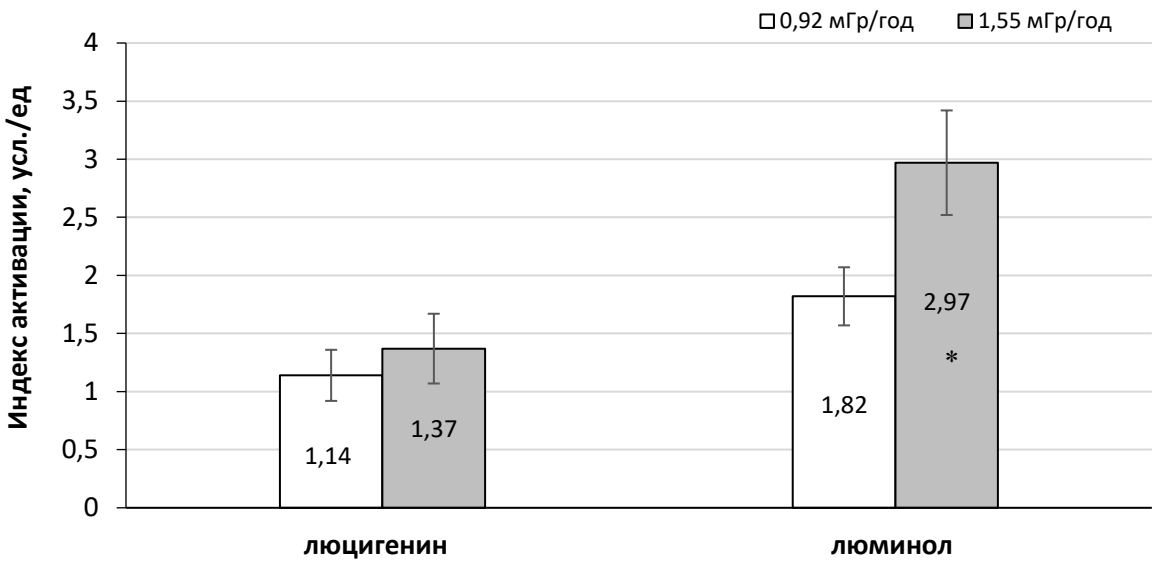


Рисунок 3.5.16 – Индекс активации АФК клеток крови овец при действии малых доз облучения: *P<0,05 по отношению к поглощенной дозе 0,92 мГр/год

Таким образом, под влиянием субклинической дозы ионизирующего излучения 1,55 мГр/год изменялись свободнорадикальные процессы, протекающие в клетках крови овец, что характеризовалось ускорением процесса генерации вторичных радикалов, ростом максимальной интенсивность ХЛ-реакции и увеличением суммарных объемов всех видов АФК. Значительное количество радикалов, образованных при активированной хемилюминесценции, что особенно выражено при продукции вторичных люминолзависимых АФК, привело к росту показателей индекса активации, что указывало на повышение функциональных возможностей фагоцитов крови овец адекватно отвечать на потенциальные антигенные угрозы формированием респираторного взрыва.

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

Для исследования крови, облученной «in vitro», отбирались пробы у крупного рогатого скота, находившегося при действии естественного облучения в значениях, характерных для территории Красноярского края (поглощенная доза 0,92 мГр/год). Облучение образцов крови «in vitro» осуществляли на установке «УПО-Интер», укомплектованной источником Cs-137. Всего исследовано 213 проб: из них 43 контрольных (образцы, крови от животных, находящихся при фоновых дозах) и 170 опытные пробы, подвергнутые облучению в дозах 1,33-500 мГр.).

Пробы отбирали у лактирующих коров черно-пестрой и красно-пестрой голштинофризской породы, средний возраст животных составил 57,6±3,55 мес. Коровы соматически здоровы, животные спокойные, аппетит сохранен, кожный покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные лимфатические узлы не увеличены, подвижны. Слизистые оболочки розовые, жвачка присутствует, сокращение рубца 2,87±0,83 раз/2 мин., температура тела в среднем составляла 38,34±0,76^{0}С, частота пульса – 77±8,9 ударов/мин, частота дыхания 17,6±6,5 мин. Коровы имели упитанность 3,5-3,75 по Уайлдману, животных можно отнести к первой категории упитанности согласно ГОСТ Р 54315-2011.

3.6.1 Морфобиохимические и иммунологические изменения в крови коров при облучении «in vitro»

Проведены исследования гематологических биохимических и хемилюминесцентных показателей образцов периферической крови коров при облучении «in vitro» 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

полученные 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 (рисунок 3.6.1.)

Дозы облучения

1,33 мГр	1,55 мГр	1,75 мГр
2,0 мГр	2,5 мГр	3,0 мГр
3,5 мГр	4,0 мГр	4,5 мГр
5,0 мГр	5,5 мГр	6,0 мГр
50 мГр	100 мГр	200 мГр
300 мГр	400 мГр	500 мГр

Группировка доз

- 1,55-2,0 мГр;
- 2,5-4,0 мГр;
- 4,5-6,0 мГр;
- 50 мГр;
- 100 мГр;
- 200мГр;
- 300мГр;
- 400мГр;
- 500 мГр.

Рисунок 3.6.1 – Группировка доз при облучении периферической крови «in vitro»

Гематологические показатели. Облучение проб крови обусловило изменение ряда гематологических показателей, таких как общее содержание эритроцитов, лейкоцитов, лейкоцитарный профиль, СОЭ.

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. 3.7.1). Первое снижение уровня гемоглобина зафиксировано при облучении в дозе 2,5 мГр, отклонение от показателей контроля составило 32,78 г/л или 38,5% ($P<0,001$). При поглощенной дозе 4,5-6 мГр уровень гемоглобина сократился до 16,05 г/л или на 18,8% относительно контроля; при дозе 50 мГр – на 32,69 г/л или 38,4% ($P<0,05$); в дозе 100 мГр – на 21,19 г/л или

24,9% (P<0,001); при дозе 200 мГр – на 11,19 г/л или 13% по сравнению с контрольными пробами (P<0,001). При однократном облучении «in vitro» образов крови в диапазоне поглощенных доз от 300 мГр до 500 мГр достоверных изменений в содержании гемоглобина не установлено.

Таблица 3.6.1 – Гематологические показатели образцов периферической крови коров при облучении «in vitro»

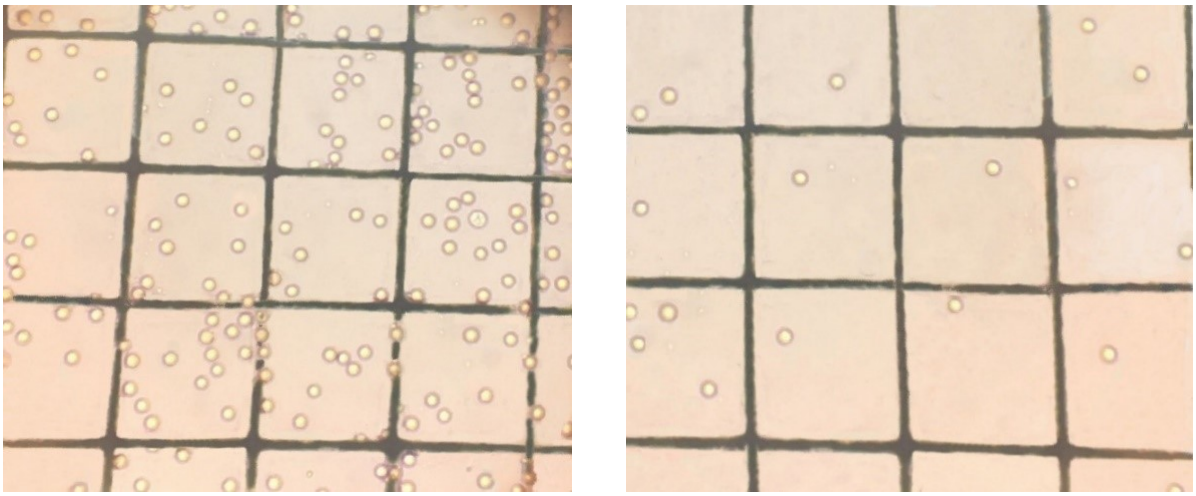
Доза, мГр	Лейкоциты, $\times 10^9$ кл./л	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $\times 10^{12}$ кл./л	СОЭ, мм/час
референсные значения	4,5-12 [12]	90-120 [41]	5-7,5 [12]	0,6-0,8 [12]
контроль (n=43)	7,21±0,38	85,19±3,72	5,25±0,20	0,41±0,08
1,33 (n=23)	8,50±1,06	81,02±0,37	3,47±0,26***	0,20±0,01*
1,55-2,0 (n=28)	7,24±0,45	79,43±3,36	3,41±0,20***	0,23±0,04*
2,50-4,0 (n=16)	6,39±0,45	52,38±3,51***	3,94±0,46*	0,53±0,11
4,50-6,0 (n=15)	7,16±0,56	69,14±1,16***	5,67±0,36	0,14±0,03**
50 (n=15)	7,37±0,52	52,50±3,22***	4,61±0,16*	0,13±0,02**
100 (n=13)	7,54±0,79	64,00±2,00***	4,75±0,14*	0,15±0,05**
200 (n=14)	7,37±1,93	74,00±7,02*	3,88±0,45**	0,20±0,04*
300 (n=14)	6,03±0,21**	88,28±6,0	3,34±0,14***	0,23±0,03*
400 (n=14)	6,46±0,51	99,01±7,23	3,27±0,18***	0,18±0,02***
500 (n=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

Общее содержание эритроцитов сократилось при воздействии на образцы крови субклинических доз облучения (табл. 3.6.1). Динамика снижения носила волнообразных характер. Количество эритроцитов при облучении в дозе 1,33 мГр уменьшалось на $1,78\times10^{12}$ клеток/л или на 33,9%; при дозах 1,55-2 мГр – на $1,84\times10^{12}$ клеток/л или 35% (P<0,001); при

воздействии доз 2,5-4 мГр – на $1{,}31\times10^{12}$ клеток/л или 25% ($P<0{,}05$) относительно контрольных значений. При дозах от 4,5 мГр до 6 мГр содержание эритроцитов находилось в пределах контрольных значений. Устойчивое снижение содержания эритроцитов регистрировалось при облучении образцов крови в диапазоне доз от 50 мГр до 500 мГр, при этом в динамике уменьшения количества эритроцитов явно прослеживалась зависимость «доза-эффект».

Количество эритроцитов при поглощенной дозе 50 мГр составляло $0{,}64\times10^{12}$ клеток/л или 12,2%; при дозе 100 мГр – $0{,}50\times10^{12}$ клеток/л или 9,5% ($P<0{,}05$). При облучении в дозе 200 мГр число эритроцитов уменьшилось на $1{,}37\times10^{12}$ клеток/л или 26,1% ($P<0{,}01$), при дозе 300 мГр – $1{,}91\times10^{12}$ клеток/л или 36,4% по сравнению с контрольными значениями ($P<0{,}01$). Наиболее ярко эритроцитопения проявилась при облучении 400-500 мГр. На рисунке 3.6.2 представлена микрокартина (увеличение ×600) эритроцитов в образце крови после облучения «in virto» в дозе 500 мГр, наглядно подтверждающая низкое содержание красных кровяных клеток.



А Б

Рисунок 3.6.2 – Морфологическая характеристика эритропении при экспериментальном облучении крови: А – контрольный образец; Б – при облучении пробы крови «in vitro» в дозе 500 мГр

Содержание эритроцитов в образцах крови снижалось при облучении 400 мГр на $1,98\times10^{12}$ клеток/л или 37,7%, при дозе 500 мГр на $2,1\times10^{12}$ клеток/л или 40% относительно данных контроля (P<0,001).

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 вызывала сокращение показателя в 2,1 раза или на 0,21 мм/час; при дозах 1,55-2 мГр – в 1,7 раза или на 0,18 мм/час относительно данных контроля (P<0,05). При облучении в дозе 2,5-4,0 мГр значения СОЭ принадлежали диапазону значений контроля. Увеличение поглощенной дозы ионизирующего воздействия приводило к возобновлению уменьшения СОЭ в пробах крови, при дозах 4,5-6 мГр – на 0,27 мм/час или в 2,9 раз, при дозе 50 мГр – на 0,28 мм/час или в 3,1 раза, при дозе 100 мГр – на 0,26 мм/час или в 2,7 раза относительно данных контроля (P<0,01). Однократное гамма-облучение в дозе 200 мГр ускоряло СОЭ в пробах крови в 2,1 раза или на 0,21 мм/час (P<0,05), при дозе 300 мГр – в 1,8 раза или на 0,18 мм/час (P<0,05), при дозе 400 мГр – в 2,3 раза или на 0,23 мм/час (P<0,001), при дозе 500 мГр – в 2,1 раза или 0,21 мм/час (P<0,05). Динамика изменения СОЭ не имела зависимости «доза-эффект», но соответствовала теории нелинейной бимодальной зависимости изменений показателей крови при действии малых доз радиации [36, 214].

Наибольшую устойчивость к воздействию малых доз при облучении «in vitro» показали лейкоциты. Достоверное снижение количества лейкоцитов на $1,18\times10^{9}$ клеток/л или на 16,4 % относительно контрольных значений (P<0,01) установлено только при дозе 300 мГр (табл. 3.6.2). Количество лейкоцитов в образцах крови при воздействии гамма-облучения в дозе 1,33-200 мГр/год находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось от контроля. Однако нами зарегистрировано изменение клеточного состава лейкоцитов, прежде всего, нейтрофильных гранулоцитов (табл. 3.6.2).

Таблица 3.6.2. – Состав нейтрофильных гранулоцитов в пробах периферической крови коров при облучении «in vitro»

Доза, мГр	Юные, %	Палочкоядерные,%	Сегментоядерные,%
Нейтрофильные гранулоциты, %			
Контроль (n=43)	1,17±0,06	3,95±0,25	24,03±1,44
1,33 (n=23)	2,40±0,60*	19,33±3,51***	15,50±3,10*
1,55-2,0 (n=28)	3,17±0,30***	17,45±2,63***	13,09±1,69***
2,50-4,0 (n=16)	3,08±0,37***	12,56±0,83***	12,72±0,88***
4,50-6,0 (n=15)	1,71±0,16**	16,09±2,11***	13,27±1,59***
50 (n=15)	0	14,00±0,79***	12,71±2,64***
100 (n=13)	0	11,13±1,48***	7,50±1,37***
200 (n=14)	0	12,25±1,76***	18,50±1,69*
300 (n=14)	0	16,28±1,49***	13,28±3,22**
400 (n=14)	0	15,10±2,10***	12,60±2,51***
500 (n=18)	0	22,38±2,90***	15,13±2,05**
Нейтрофильные гранулоциты, $\times 10^9$ клеток/л			
Контроль (n=43)	0,08±0,01	0,28±0,02	1,74±0,10
1,33 (n=23)	0,20±0,05*	1,63±0,29**	1,30±0,19*
1,55-2,0 (n=28)	0,22±0,02***	1,25±0,19***	0,93±0,12***
2,50-4,0 (n=16)	0,19±0,02***	0,79±0,05***	0,81±0,06***
4,50-6,0 (n=15)	0,12±0,01**	1,15±0,15***	0,95±0,12***
50 (n=15)	-	1,00±0,06***	0,90±0,19***
100 (n=13)	-	0,82±0,13***	0,57±0,11***
200 (n=14)	-	0,90±0,13***	1,36±0,12**
300 (n=14)	-	0,97±0,09***	0,80±0,19***
400 (n=14)	-	0,97±0,13***	0,80±0,16***
500 (n=18)	-	1,71±0,22***	1,14±0,16***

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

Содержание нейтрофильных гранулоцитов в периферической крови при облучении «in vitro» в субклинических дозах имело характерные особенности, обусловленные увеличением абсолютного и 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 дозе 1,33 мГр их уровень вырос в 2,1 раза (P<0,05), при дозах 1,55-4,0 мГр – в 2,6 раза (P<0,001), при дозах 4,5-6,0 мГр – в 1,5 раза относительно данных контроля.

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 ионизирующего излучения.

При облучении проб крови «in vitro» выявлено достоверное повышение относительного содержания палочкоядерных нейтрофилов (P<0,001), которое не имело прямой доза-зависимости. Количество палочкоядерных нейтрофилов при дозе 1,33 мГр увеличилось в 4,9 раза; при дозах 1,55-2 мГр – в 4,4 раза; при облучении в дозах 2,50-4 мГр – в 3,2 раза относительно контрольных значений. Облучение проб крови в дозах 4,5-6,0 мГр увеличило содержание палочкоядерных нейтрофилов в 4,1 раза, 50 мГр – 3,5 раза; 100 мГр – 2,8 раза; 200 мГр – 3,1 раза; 300 мГр – 4,1 раза; 400 мГр – 3,8 раза; 500 мГр – 5,7 раза относительно данных контроля (P<0,001). Максимальный рост уровня палочкоядерных нейтрофилов зарегистрирован при дозах 1,33 мГр, 4,5-6 мГр, 300 мГр и 500 мГр.

Наряду с увеличением относительного содержания палочкоядерных нейтрофилов в крови наблюдалось снижение сегментоядерных клеток. Относительное количество сегментоядерных нейтрофилов уменьшилось при облучении в дозе 1,33 мГр в 1,6 раза (P<0,05), при дозах 1,55-2 мГр в 1,8 раза (P<0,001), при воздействии доз 2,50-4 мГр в 1,9 раза (P<0,001), при дозах 4,5-

6,0 мГр в 1,8 раза (P<0,001) относительно контрольных данных. Облучение в дозе 50 мГр вызвало снижение содержания сегментоядерных клеток в 1,8 раза (P<0,001), при дозе 100 мГр – в 3,2 раза (P<0,001), при дозе 200 мГр – в 1,3 раза (P<0,05). При поглощенной дозе в 300 мГр относительное содержание сегментоядерных нейтрофилов понизилось в 1,8 раза (P<0,01) при дозе 400 мГр в – 1,9 раза (P<0,001) и при облучении в 500 мГр – в 1,6 раза (P<0,01) по сравнению с контрольными значениями. Микроскопически (увеличение ×90) установлено, что сегментоядерные нейтрофилы в мазках образцов крови после облучения собраны в конгломераты (рисунок 3.6.3), отмечали изменение формы нейтрофилов.

В уменьшении относительного количества сегментоядерных нейтрофилов не выявлена прямая доза-зависимость. Наибольшее сокращение количества клеток установлено при дозе 100 мГр.

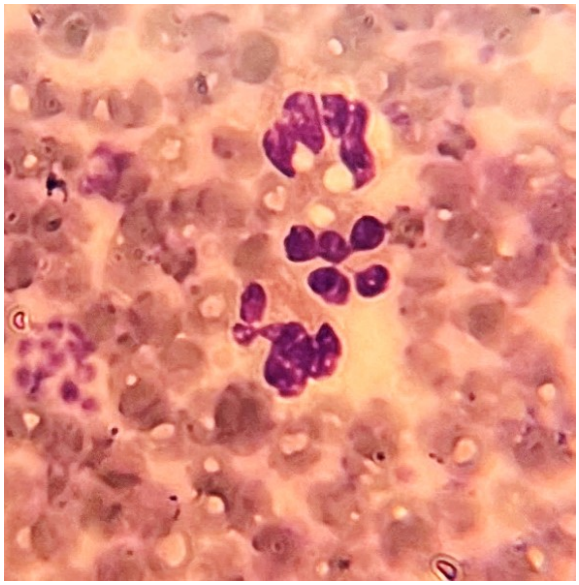


Рисунок 3.6.3 – Микрокартина конгломератов сегментоядерных нейтрофилов в образцах крови при облучении «in vitro» в дозе 500 мГр,

Абсолютное содержание нейтрофилов изменялось, начиная с дозы облучения 1,33 мГр. При облучении в дозе 1,33 мГр количество юных форм нейтрофилов увеличивалось на $0,12\times10^9$ клеток/л или в 2,5 раза (P<0,05),

содержание палочкоядерных нейтрофилов возрастало на $1,35\times10^9$ клеток/л или в 5,8 раза (P<0,01), при снижении числа сегментоядерных форм в 1,3 раза или на $0,44\times10^9$ клеток/л (P<0,05) относительно данных контроля. С увеличением поглощенной дозы ионизирующего излучения в пробах крови нарастало количество юных и палочкоядерных форм и уменьшалось число сегментоядерных нейтрофилов. При облучении проб крови в дозе 1,55-2,0 мГр/год число юных нейтрофилов повышалось в 2,8 раза или на $0,14\times10^9$ клеток/л, палочкоядерных – в 4,3 раза или на $0,97\times10^9$ клеток/л, при одновременном падении количества сегментоядерных форм нейтрофилов в 1,9 раза или на $0,81\times10^9$ клеток/л относительно контрольных значений (P<0,001). Подобная динамика регистрировалась до дозы 6,0 мГр, когда абсолютное содержание юных форм нейтрофилов возрастало в 1,5 раза или на $0,04\times10^9$ клеток/л (P<0,01), палочкоядерных форм – в 4,1 раза или на $0,87\times10^9$ клеток/л (P<0,001), наряду с этим регистрировалось снижение содержания сегментоядерных нейтрофилов в 1,8 раза или на $0,79\times10^9$ клеток/л по сравнению с данными контроля (табл. 3.6.2).

При облучении проб крови в дозе 50-500 мГр отсутствовали юные формы нейтрофилов, регистрировалось увеличение количества палочкоядерных форм наряду со снижением числа сегментоядерных нейтрофилов. Так при поглощенной дозе 50 мГр число палочкоядерных форм нейтрофилов возрастало на $0,72\times10^9$ клеток/л или в 3,5 раза, количество сегментоядерных нейтрофилов понижалось на $0,84\times10^9$ клеток/л или в 1,9 раза относительно данных контроля (P<0,001). При воздействии дозы в 100 мГр абсолютное содержание палочкоядерных нейтрофилов повышалось на $0,54\times10^9$ клеток/л или в 2,9 раза, значение сегментоядерных форм сокращалось на $1,17\times10^9$ клеток/л или в 3,1 раза относительно контрольных значений (P<0,001). При облучении проб крови в дозе 200 мГр значение палочкоядерных нейтрофилов увеличивалось на $0,62\times10^9$ клеток/л или в 3,2 раза (P<0,001), при этом число сегментоядерных форм снижалось на $0,38\times10^9$ клеток/л или в 0,4 раза (P<0,01) по сравнению с контрольными данными.

Динамика изменений содержания форм нейтрофилов при дозах 300 и 400 мГр идентична, при этих поглощенных дозах абсолютное количество палочкоядерных форм возрастало на $0{,}69\times10^9$ клеток/л или в 3,5 раза, а значение сегментоядерных нейтрофилов уменьшалось на $0{,}94\times10^9$ клеток/л или в 2,2 раза относительно контрольных значений (P<0,001). Подобное явление приведено в ряде литературных источников, описывающих динамику нейтрофилов при облучении животных [214].

Обращает на себя внимание соотношение форм нейтрофилов при поглощенной дозе 500 мГр. При этой дозе установлено максимальное увеличение числа палочкоядерных форм на $1{,}43\times10^9$ клеток/л или в 6,1 раза, при этом абсолютное количество сегментоядерных форм снизилось на $0{,}6\times10^9$ клеток/л или в 1,5 раза по сравнению с данными контроля (P<0,001).

При воздействии субклинических доз радиации достоверно изменялось относительное содержание эозинофилов (рисунок 3.6.4).

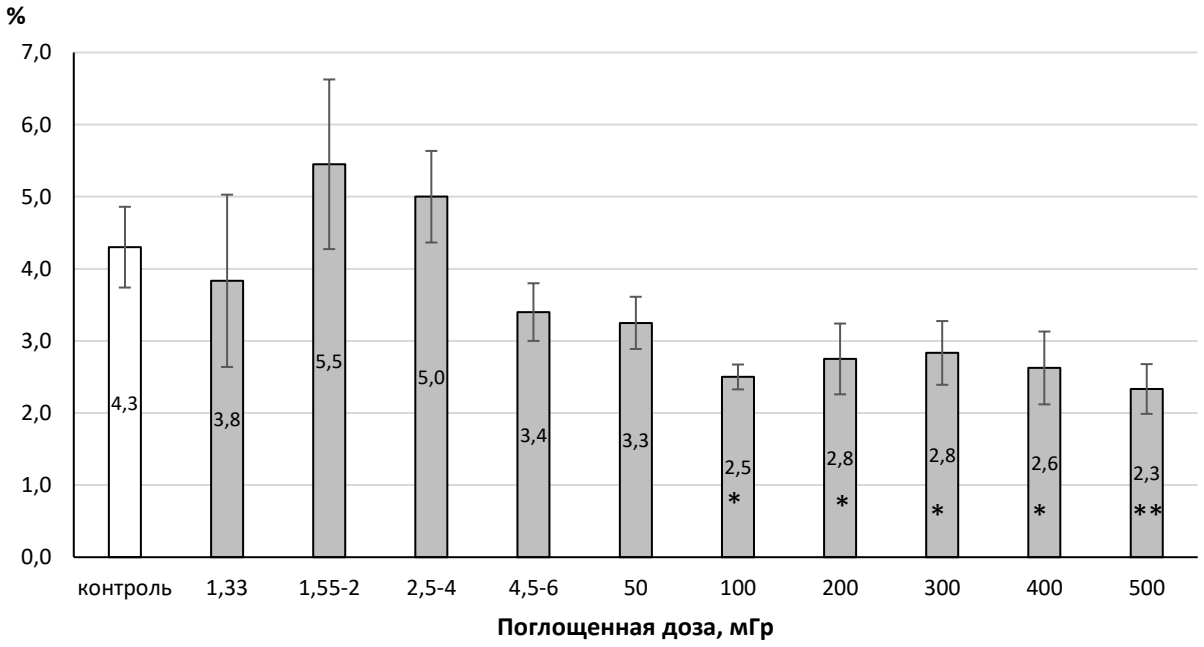


Рисунок 3.6.4 – Относительное содержание эозинофилов в образцах периферической крови коров при облучении «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к контролю

При воздействии ионизирующего излучения в дозах в 1,33-2,0 мГр на периферическую кровь «in vitro» количество эозинофилов находилось в диапазоне значений контрольной группы. При увеличении дозы облучения в диапазоне 2,5-50 мГр появилась тенденция к сокращению содержания эозинофилов. При внешнем гамма-облучении в диапазоне 100-500 мГр регистрировалось достоверное снижение содержания эозинофилов относительно фоновых контрольных значений (0,92 мГр), падение их уровня составило: при дозах 100 мГр – 3,04%; 200 мГр – 1,58%; 300 мГр – 1,5%; 400 мГр – 1,7%; 500 мГр – 2%.

Абсолютное количество эозинофилов при воздействии радиации в диапазоне доз 1,33-50 мГр находилось в диапазоне 0,23±0,03-0,38±0,08×10^9 клеток/л и статистически не отличалось он данных контроля (табл. 3.6.3).

Таблица 3.6.3 – Абсолютное содержание базофилов и эозинофилов в пробах крови коров при облучении «in vitro»

Поглощенная доза, мГр/год	Количество проб	Базофилы, ×10^9 клеток/л	Эозинофилы, ×10^9 клеток/л
контроль	43	0,07±0,01	0,31±0,04
1,33	23	-	0,32±0,10
1,55-2,0	28	0,07±0,01	0,38±0,08
2,50-4,0	16	0,09±0,01	0,33±0,04
4,50-6,0	15	0,07±0,01	0,24±0,03
50	15	-	0,23±0,03
100	13	0,08±0,01	0,11±0,01***
200	14	0,07±0,01	0,21±0,02*
300	14	0,06±0,01	0,17±0,03**
400	14	0,06±0,01	0,17±0,03**
500	18	-	0,18±0,03*

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

При облучении проб крови в дозе 100 мГр количество эозинофилов снижалось на $0,2\times10^9$ клеток/л или 64,5% (P<0,001). Число эозинофилов в пробах уменьшалось при воздействии дозы в 200 мГр на 32,3% или на $0,1\times10^9$ клеток/л (P<0,05), при поглощенных дозах 300 мГр и 400 мГр на 45% или на $0,14\times10^9$ клеток/л (P<0,01) относительно данных контроля. Ионизирующее излучение в дозе 500 мГр сокращало количество эозинофилов в пробах крови на 41,9% или на $0,13\times10^9$ клеток/л относительно данных контроля (P<0,05), что меньше, чем при дозах 300-400 мГр, но больше значений, полученных при поглощенной дозе 200 мГр.

Абсолютное содержание базофилов при облучении проб крови в диапазоне 1,33-500мГр не изменялось относительно контрольных значений (табл. 3.6.3). Абсолютное количество базофилов при воздействии малых доз ионизирующего излучения «in vitro» в диапазоне от 1,33 мГр до 500 мГр не изменялось относительно контрольных значений ($0,07\pm0,01\times10^9$ клеток/л) и находилось в диапазоне от 0,06±0,01 до $0,09\pm0,01\times10^9$ клеток/л.

Содержание лимфоцитов при облучении образцов периферической крови крупного рогатого скота в дозах 1,33-6,0 мГр статистически не отличалось от значений контрольных проб и находилось в диапазоне 58,50-63,64%. При воздействии доз в диапазоне 50-100 мГр наблюдался лимфоцитоз, относительное содержание клеток увеличивалось при дозе 50 мГр на 7,43% (P<0,05), при облучении в 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 крупного рогатого скота в дозе от 200 до 500 мГр содержание лимфоцитов не изменялось относительно значений контроля, что свидетельствует о высокой радиорезистентности лимфоцитов по сравнению со зрелыми нейтрофильными гранулоцитами (табл. 3.6.4). Абсолютное число лимфоцитов при облучении в

диапазоне доз от 1,33 мГр до 2мГр не изменялось относительно контрольных значений. При воздействии доз 2,5-4 мГр количество лимфоцитов сокращалось на $0,53\times10^9$ клеток/л или на 11% относительно контрольных данных (P<0,05). При облучении проб крови в пределах 4,5-300 мГр количество лимфоцитов находилось в одном диапазоне изменчивости с данными контрольной группы и статистически не отличалось. При облучении в дозе 300 мГр абсолютное число лимфоцитов понижалось на $0,72\times10^9$ клеток/л или на 15% в сравнении с данными контроля (P<0,05). При увеличении дозы облучения от 400 мГр до 500 мГр не установлено изменений в содержании лимфоцитов по сравнению с данными контроля (табл. 3.6.4).

Таблица 3.6.4. – Содержание агранулоцитов в пробах периферической крови коров при облучении «in vitro»

Доза, мГр	Количество проб	Лимфоциты	Моноциты
Относительное содержание, %			
Контроль	43	63,28±1,32	2,32±0,23
1,33	23	58,50±4,83	1,00±0,47*
1,55-2,0	28	59,50±4,25	1,76±1,01
2,50-4,0	16	63,64±1,57	2,31±0,30
4,50-6,0	15	63,36±3,07	1,50±0,11**
50	15	70,71±3,28*	2,50±0,80
100	13	78,50±2,14***	1,33±0,20**
200	14	63,75±3,83	2,00±0,38
300	14	63,85±4,57	3,25±0,46*
400	14	68,40±4,02	1,50±0,31*
500	18	58,63±4,49	1,67±0,20*
Абсолютное содержание, $\times10^9$ клеток/л			
контроль	43	4,56±0,10	0,17±0,02
1,33	23	4,97±0,41	0,08±0,04*

1,55-2,0	28	4,24±0,30	0,12±0,07
2,50-4,0	16	4,03±0,24*	0,15±0,01
4,50-6,0	15	4,54±0,22	0,11±0,01**
50	15	5,06±0,23	0,18±0,06
100	13	4,86±0,16	0,10±0,02*
200	14	4,69±0,28	0,14±0,03
300	14	3,84±0,28*	0,19±0,03
400	14	4,37±0,26	0,09±0,02**
500	18	4,47±0,34	0,13±0,02

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

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 $0,09\times10^9$ клеток/л или на 52,9% (P<0,05), при поглощенных дозах 4,5-6мГр на $0,06\times10^9$ клеток/л или на 64,7% (P<0,01), при дозе в 100 мГр сокращение составило $0,07\times10^9$ клеток/л или на 41,2% (P<0,05), при дозе 400 мГр – на $0,04\times10^9$ клеток/л или 23,5% (P<0,01) относительно контрольных значений.

Таким образом, ионизирующее излучение «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 и абсолютном уровне белых клеток крови.

При воздействии радиации в субклинических дозах (1,33-500 мГр) поступательно сокращается содержание эозинофилов и сегментоядерных нейтрофильных гранулоцитов, что свидетельствует о высокой чувствительность этих клеток к гамма-облучению. 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 также указывает на их высокую радиочувствительность. При воздействии «in vitro» малых доз ионизирующего излучения на пробы крови снижается содержание агранулоцитов, вплоть до развития лимфоцито- и моноцитопении, причем значительное сокращение относительного уровня моноцитов указывает на высокую чувствительность моноцитов к ионизирующему излучению. 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. В определении функционального состояния лейкоцитов значительное место имеют показатели их фагоцитарной активности, то есть способности моноцитов и нейтрофилов крови поглощать частицы латекса. Нами установлено, что внешнее воздействие ионизирующего излучения на пробы крови в дозе 1,33 мГр вызывает сокращение показателя в 1,5 раза по сравнению с данными контроля ($P<0,05$). В субклинических дозах 2,5-500 мГр снижение поглощающей способности фагоцитов крови относительно частиц латекса становилось более выраженным ($P<0,001$). Лишь при воздействии излучения в дозах 1,55-2,0 мГр значение фагоцитарного индекса достоверно не отличалось от значений контроля.

На рисунке 3.6.5 представлена динамика изменений показателей фагоцитарного индекса клеток при облучении образцов крови «in vitro». При дозах 2,5-4 мГр показатели уменьшались на 9,9% или в 1,4 раза, при дозах 4,5-6,0 мГр – на 16,7% или в 1,9 раза, при дозе 50 мГр – на 14,5% или в 1,7 раза относительно данных контроля. Фагоцитарный индекс клеток в образцах периферической крови при облучении в дозе 100 мГр падал на 13,3% или в 1,6 раза, при дозе 200 мГр – на 12,8% или в 1,6 раза, при дозе 300 мГр – на 10,4%

или в 1,4 раза. Внешнее однократное облучение проб крови в дозе 400 мГр уменьшало значение фагоцитарного индекса на 13,6 % или в 1,6 раза, при дозе 500 мГр – на 11,9% или в 1,5 раза по сравнению с данными контроля.

Установлено, что в динамике снижения фагоцитарного индекса не прослеживалась зависимость «доза-эффект», наибольшее снижение регистрировалось при дозах 2,5-4,0 мГр, 50 мГр и 400 мГр. Динамика изменений показателей фагоцитарного индекса имеет бимодальное распределение с модой, принадлежащей диапазонам 1,55-2 мГр и 300 мГр. Данное распределение является характерным при воздействии малых доз на биологические объекты.

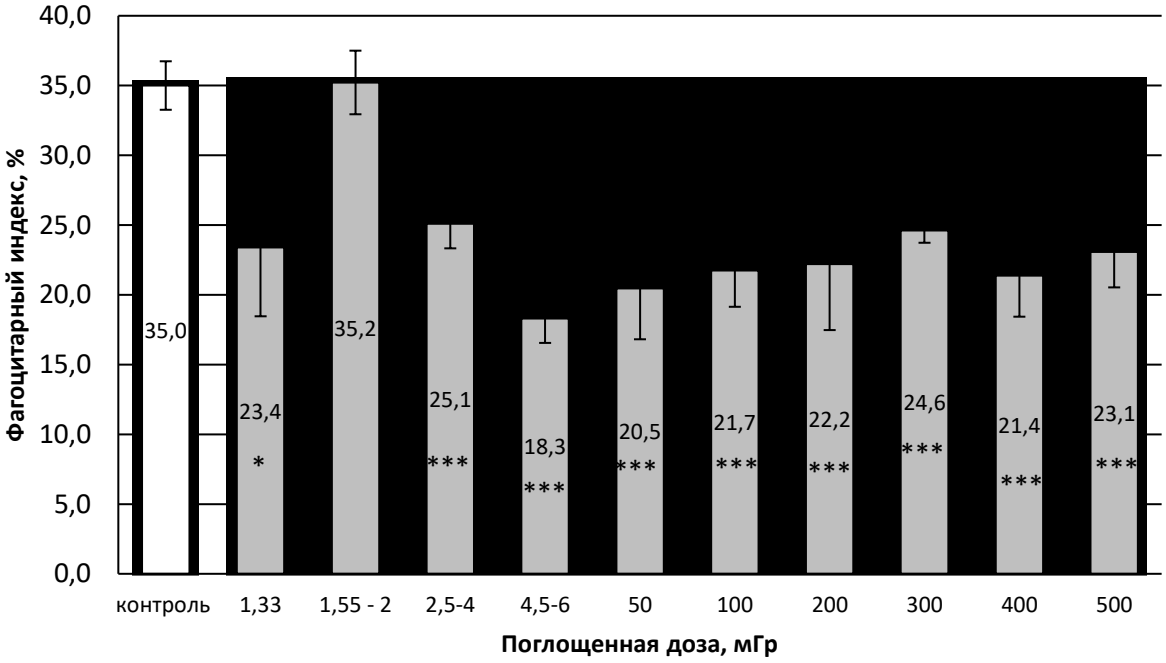


Рисунок 3.6.5 – Фагоцитарный индекс лейкоцитов периферической крови коров при облучении «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр: *P<0,05; ***P<0,001 по отношению к контролю

Эффект нелинейной бимодальной зависимости подразумевает наличие разрыва между дозами, вызывающими повреждения в биологических структурах и инициирующими системы их восстановления. В связи с этим пока системы восстановления не работают с полной интенсивностью,

биоэффект нарастает с увеличением дозы, затем по мере усиления процессов восстановления может сохраниться на том же уровне или уменьшаться вплоть до элиминирования, может сменить свой знак и вновь нарастать с увеличением дозы, если повреждения в биообъектах превалируют над восстановлением [36, 38].

Снижение активности фагоцитов крови, возникающее под влиянием субклинических доз ионизирующего излучения, является негативным последствием облучения и свидетельствует о сокращении возможностей неспецифической резистентности организма и развитии недостаточности клеточного звена иммунной системы.

Биохимические показатели. При действии «in vitro» внешнего гамма-облучения на образцы периферической крови коров установлены достоверные изменения биохимических показателей: уровеня аланинаминотрасферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), креатинина и белковых фракций.

Уровень резервной щелочности при в дозе 100 мГр снижался в 1,3 раза по отношению к контрольным значениям и составлял 200,50±0,50 мг% ($P<0,05$). При облучении образцов крови в дозах от 1,33 до 50 мГ/год показатели резервной щелочности находились в одном диапазоне с контрольными данными (250,65±0,5мг%).

При облучении крови в диапазоне доз от 1,33 до 500 мГр не выявлено изменений в концентрации глюкозы и щелочной фосфатазы. Содержание глюкозы в контрольных пробах и пробах подвергнутых облучению в субклинических дозах, статистически не различалось и находилось в диапазоне от 1,42 до 4,2 ммоль/л, среднее содержание глюкозы в пробах составляло 2,40±0,54 ммоль/л. Концентрация щелочной фосфатазы во всех пробах находилась в диапазоне значений от 125,86 до 581,27 нмоль/с×л, в среднем значения составляли 307,20±108,17 нмоль/с×л.

При воздействии дозы 500 мГр концентрация мочевины составляла 2,70±0,17 ммоль/л, что в 1,3 раза ниже данных контрольных значений ($P<0,05$). Содержание мочевины при облучении проб крови в дозе 1,33-400 мГр

варьировалось от 3,07 до 4,45 ммоль/л и достоверно не отличалось от данных контрольной группы (3,60±0,33 ммоль/л).

Концентрация мочевой кислоты при воздействии облучения «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр достоверно не отличалась по отношению к контрольным значениям (168,13 ±15,32 мкмоль/л) и находилась в пределах 134,31±73,73-186,41±22,60 мкмоль/л.

Содержание общего белка при облучении в интервале доз 1,33-6 мГр находились в пределах 63,25±15,81-73,09±1,74 г/л и не изменялось по сравнению с контрольными значениями (74,55±2,18 г/л). При гамма-облучении в дозах 50 и 100 мГр концентрация общего белка относительно контрольных значений достоверно (P<0,001) снижалась на 11% и 13% соответственно. При воздействии ионизирующего излучения в дозах от 200 мГр до 500 мГр содержание общего белка находилось в одном диапазоне изменчивости с контрольными данными (табл. 3.6.5). Общий белок включает несколько фракций, имеющих разное функциональное значение в организме: альбумины, альфа-, бета- и гамма-глобулины.

Относительное содержание альбуминов при облучении проб крови в дозах 1,33-500 мГр находилось в одном диапазоне изменчивости и не имело достоверных статистических отличий от данных контроля.

Концентрация глобулинов изменялась волнообразно, начиная с дозы 1,55 мГр (табл. 3.6.6). При воздействии ионизирующего излучения в дозе 1,55-2 мГр уровень альфа-глобулинов уменьшался на 3,92 %, при дозе 2,5-4 мГр – на 2,26% относительно значений контроля (P<0,05). При воздействии ионизирующего излучения в дозах от 4,5 мГр до 100 мГр относительное содержание альфа-глобулинов в среднем составляло 19,08±1,63% и не отличалось от значений контроля (16,18±0,70%). При дальнейшем увлечении дозы облучения регистрировалось падение уровня альфа-глобулинов в пробах, при поглощенной дозе 200 мГр относительное содержание альфа-глобулинов уменьшалось на 5,03 % или в 1,5 раза относительно данных контроля (P<0,01). При облучении в дозе 300 мГр относительное содержание альфа-глобулинов

снижалось на 7,05 %, при дозе 400 мГр – на 6,49%, при дозе в 500 мГр – на 6,76 % или в 1,7 раза по сравнению с контрольными значениями (P<0,001).

Таблица 3.6.5 – Концентрация общего белка и альбуминов в пробах крови при облучении «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Общий белок, г/л	Альбумин, %
референсные значения		60-85, [41]	35-50, [41]
контроль	43	74,55±2,18	39,89±1,91
1,33	23	63,25±15,81	38,72±3,24
1,55-2,0	28	71,93±1,80	40,24±2,37
2,50-4,0	16	73,09±1,74	40,13±1,16
4,50-6,0	15	69,76±1,75	42,02±2,12
50	15	66,19±1,29***	42,76±1,40
100	13	64,54±1,37***	43,65±1,43
200	14	79,56±1,20	43,85±1,07
300	14	78,29±1,21	42,99±1,96
400	14	77,28±1,18	44,27±1,21
500	18	72,20±2,46	44,07±1,67

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

Динамика изменения концентрации бета-глобулинов имела волнообразный характер. При поглощенных дозах 1,33-4,0 мГр содержание бета-глобулинов в пробах крови находилось в пределах контрольных значений и статистически не отличалось. При дозах 4,50-6 мГр выявлено достоверное снижение концентрации бета-глобулинов на 28,55% или в 1,3 раза относительно контрольных значений (P<0,01). При поглощенных дозах 50 и 100 мГр уровень бета-глобулинов уменьшался в 1,7 раза или 40% по

сравнению с данными контроля (P<0,001). Увеличение дозы облучения не приводило к изменению значений бета-глобулинов. При дозах в диапазоне от 200 мГр до 500 мГр относительное содержание бета-глобулинов принадлежало диапазону 17,76-19,60% и статистически не отличалось от контрольных значений.

Таблица 3.6.6 – Концентрация глобулинов в пробах крови коров при облучении «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Альфа-глобулины,%	Бета-глобулины, %	Гамма-глобулины, %
референсные значения	10-20, [41]	10-18, [41]	25-40, [41]
Контроль (n=43)	16,18±0,70	18,27±1,24	25,66 ±1,34
1,33 (n=23)	16,40±1,52	23,04±2,52	21,84±2,00
1,55-2,0 (n=28)	12,48±1,42*	24,11±2,74	22,61±1,99
2,50-4 (n=16)	13,92±0,68*	23,09±2,75	22,86±1,13
4,50-6 (n=15)	18,00±1,36	13,12±1,43**	26,86±1,67
50 (n=15)	19,86±1,77	10,97±0,68***	26,41±1,19
100 (n=13)	19,39±1,77	10,05±0,30***	26,93±3,45
200 (n=14)	11,15±1,50**	18,10±1,91	26,91±3,07
300 (n=14)	9,13±1,04***	17,88±1,24	27,92±1,90
400 (n=14)	9,69±0,91***	19,60±0,82	26,44±1,73
500 (n=18)	9,42±1,00***	17,76±0,93	28,75±2,12

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

Высокая степень резистентности к ионизирующему воздействию у гамма-глобулинов, их количество при облучении в дозах от 1,33 мГр до 500мГр не изменялось относительно контрольных значений (25,66 ±1,34 %), находилось в диапазоне от 21,84% до 28,75% (табл. 3.6.6).

Установлено, что фермент аланинаминотрансфераза (АЛТ) является радиационно устойчивым. Субклинические дозы ионизирующего излучения только в диапазоне 200-500 мГр снижали концентрацию фермента. При воздействии ионизирующего излучения «in vitro» на пробы крови в дозах 1,33-100 мГр концентрация АЛТ находилась в пределах контрольных значений и статистически не различалась (табл.3.6.7). Нами определено, что минимальная доза, уменьшающая содержание фермента аланинаминотрансферазы в пробах крови, составила 200 мГр, при этой дозе концентрация АЛТ достоверно снижалась на 0,09 мкмоль/(с×л) или 60% относительно данных контроля (P<0,001). Содержание АЛТ при облучении образцов крови в дозе 300 мГр уменьшалось на 0,07 мкмоль/(с×л) или на 46,7%, при дозе 400 мГр – на 0,06 07 мкмоль/(с×л) или 40% (P<0,01). При воздействии дозы в 500 мГр величина АЛТ снижалась на 0,1 мкмоль/(с×л) или 66,7 % (P<0,001) по сравнению с контрольными значениями (табл.3.6.7).

Нами установлено, что фермент аспартатаминотрансфераза (АСТ) имеет высокую радиочувствительность в отличии от АЛТ, поскольку количество фермента изменялось уже при дозе 1,33 мГр. При облучении в дозе 1,33 мГр концентрация АСТ снижалась на 0,38 мкмоль/(с×л) или на 51%, при воздействии поглощенных доз в диапазоне 1,55-4мГр на 0,48 мкмоль/(с×л) или на 64,9% относительно данных контроля (P<0,001). Воздействие ионизирующего излучения на пробы крови в дозах от 4,50 мГр до 100 мГр не изменяло концентрацию АСТ относительно данных контроля (0,74±0,09), при этих дозах содержание АЛТ находилась в диапазоне значений 0,60-0,89 мкмоль/(с×л). Увеличение дозы внешнего облучения до 200 мГр уменьшало содержание АСТ на 0,52 мкмоль/(с×л) или на 70% по сравнению с контрольными значениями (P<0,001). Однако дозы облучения 300 мГр и 400 мГр не влияли на концентрацию аспартатаминотрансферазы в пробах крови, при этих дозах содержание АСТ в среднем составляло 0,60±0,04 мкмоль/(с×л) и статистически не отличалось от контрольных данных. При облучении проб

крови в дозе 500 мГр установлено резкое падение содержания АСТ на 0,70 мкмоль/(с×л) или на 87,8%.

Таблица 3.6.7 – Содержание ферментов в образцах периферической крови при облучении «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	АЛТ, мкмоль/(с×л)	АСТ, мкмоль/(с×л)	Креатинин, мкмоль/л
референсные значения	0,10-0,29[10]	0,20-0,32[8]	88-177, [41]
контроль (n=43)	0,15±0,02	0,74±0,09	172,38±7,09
1,33 (n=23)	0,12±0,04	0,36±0,01***	104,41±8,95***
1,55-2,0 (n=28)	0,12±0,05	0,26±0,08***	132,64±11,64**
2,50-4 (n=16)	0,17±0,03	0,26±0,06***	145,25±2,20**
4,50-6 (n=15)	0,19±0,04	0,89±0,09	148,40±2,78**
50 (n=15)	0,11±0,02	0,75±0,06	152,06±2,14**
100 (n=13)	0,24±0,08	0,60±0,06	150,34±3,88**
200 (n=14)	0,06±0,01***	0,22±0,02***	155,70±1,66*
300 (n=14)	0,08±0,01**	0,58±0,03	165,05±3,82
400 (n=14)	0,09±0,01**	0,61±0,04	162,66±4,51
500 (n=18)	0,05±0,01***	0,09±0,01***	171,30±4,32

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

Содержание креатинина в пробах крови, подвергнутых облучению в дозах 1,33-200 мГр, снижалось по отношению к контрольным значениям, степень падения уровня креатинина уменьшалась с увеличением дозы воздействия. Максимальное снижение креатинина установлено при облучении в дозе 1,33 мГр – на 39,4% или на 67,9 мкмоль/л по сравнению с контрольными

[10] Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник / Под ред. проф. И. П. Кондрахина. – М.: КолосС, 2004. – 520 с

данными (P<0,001). Концентрация креатинина понизилась при дозах 1,55-2,0 мГр на 23% или на 39,74 мкмоль/л, при дозах 2,5-4,0 мГр – на 15,5% или на 27,13 мкмоль/л, при воздействии доз в диапазоне 4,5-6 мГр на 13,9% или на 23,98 мкмоль/л относительно данных контроля (P<0,01). Увеличение дозы ионизирующего излучения понижало содержание креатинина в образцах крови, при дозе 50 мГр концентрация уменьшилась на 11,8 % или на 20,32 мкмоль/л, при дозе 100 мГр – на 12,8% или на 22,04 мкмоль/л по отношению к контрольным значениям (P<0,01). При облучении проб крови в дозе 200 мГр установлено минимальное снижение количества креатинина на 9,8% или на 16,68 мкмоль/л относительно данных контроля (P<0,05). Дальнейшее увеличение дозы ионизирующего воздействия на образцы крови не приводило к изменению креатинина в пробах, при облучении 300-500 мГр содержание фермента находилось в диапазоне 162,66-171,30 мкмоль/л и статистически не отличалось от контрольной величины. В результате исследований установлена радиочувствительность креатинина к дозам ионизирующего излучения 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 биохимических показателей 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 ионизирующего излучения количество креатинина в пробах крови медленно восстанавливалось до значений контроля (рисунок 3.6.6).

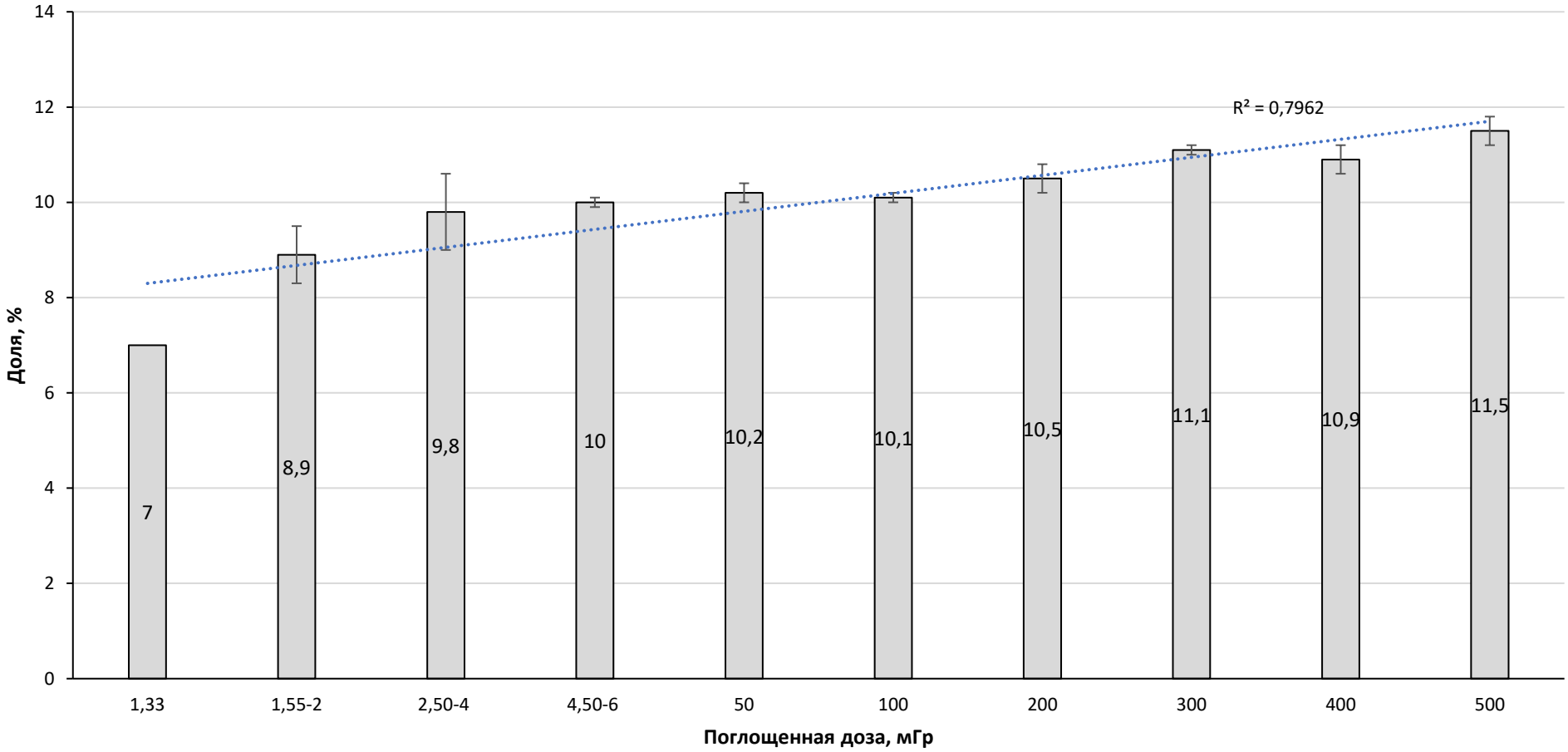


Рисунок 3.6.6 – Частотное распределение концентрации креатинина в периферической крови при облучении «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр

Динамика распределения значений аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы в пробах периферической крови представлена на рисунке 3.6.7.

Динамика распределений значений АСТ и АЛТ имела полиномиальный тренд. Установлено, что коэффициент аппроксимации полиномиального тренда АСТ – 0,52, что демонстрировало среднюю степень соответствия, для аланинаминотрансферазы 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.

Динамика распределений альфа- и бета-глобулинов в периферической крови представлена на рисунке 3.6.8.

Распределение концентрации альфа-бета-глобулинов имело полиномиальный тренд. Установлено, что 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 на дозах: 1,55-2 мГр, 300мГр и 500мГр, бета-глобулинов 50 мГр и 500 мГр.

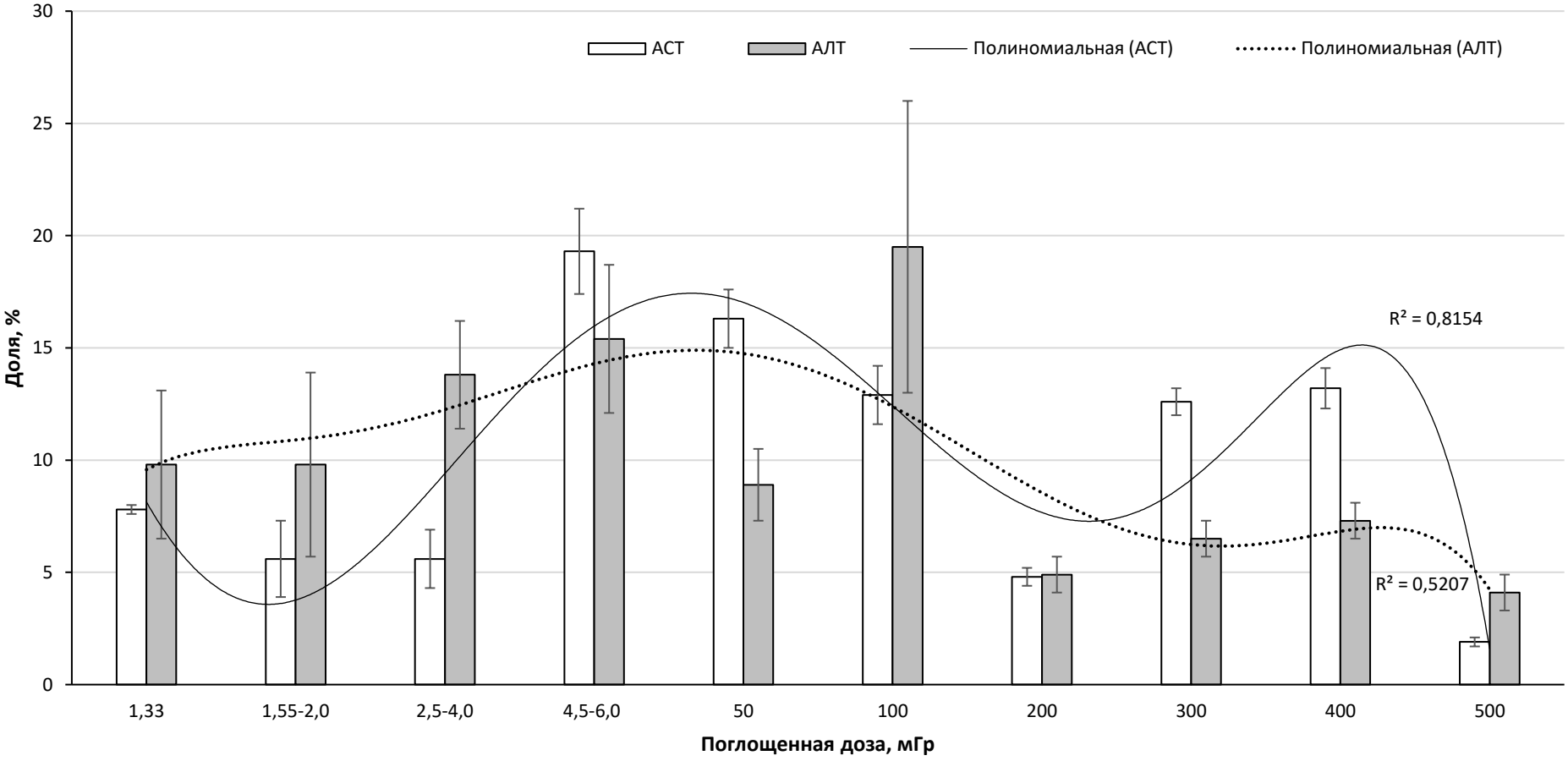


Рисунок 3.6.7 – Частотное распределение АСТ и АЛТ в периферической крови при облучении «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр

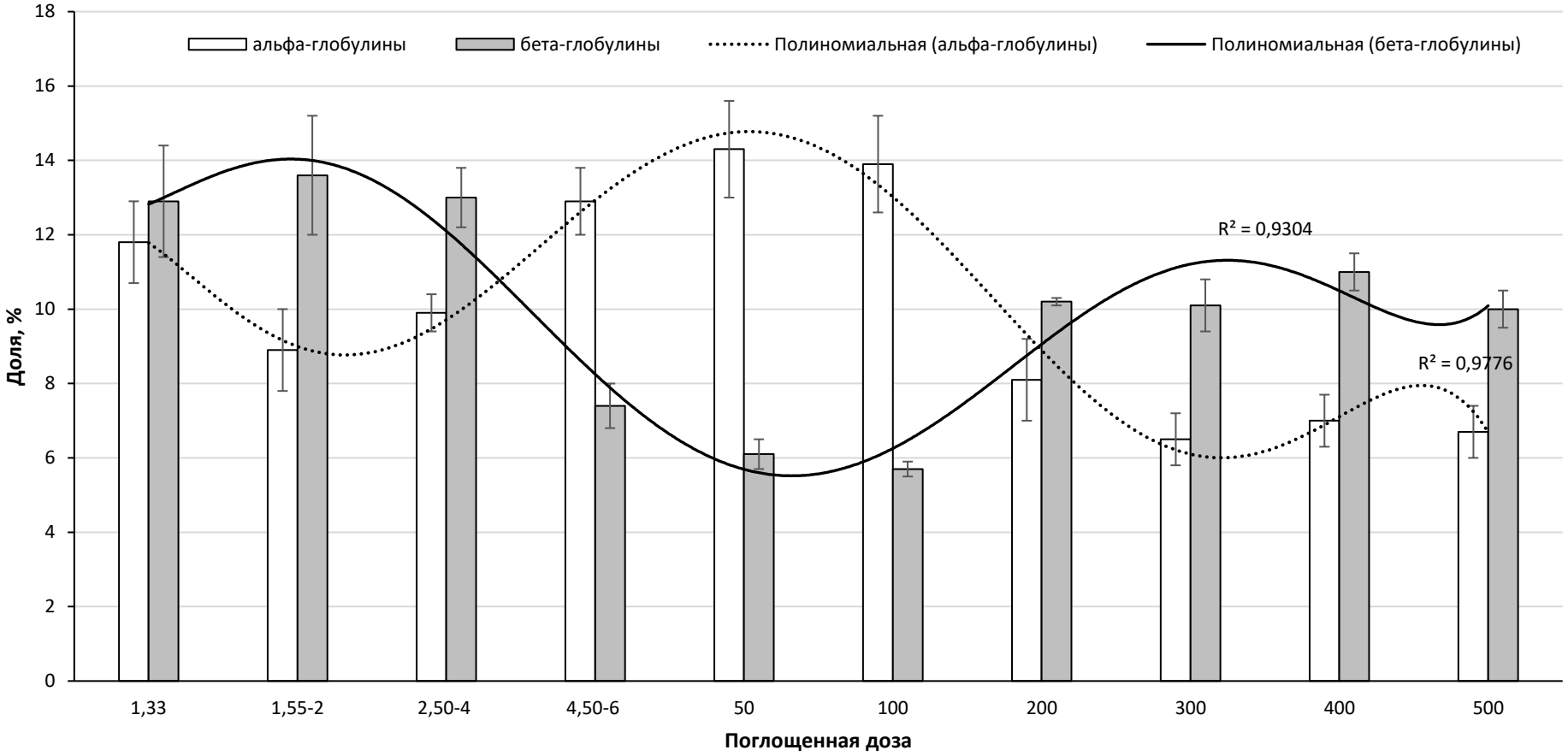


Рисунок 3.6.8 – Содержание альфа-, бета-глобулинов в периферической крови при облучении «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр

Таким образом, модельное воздействие субклинических доз ионизирующего 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 при дозах 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 воздействии на образцы крови коров субклинических доз ионизирующего излучения «in vitro» в диапазоне 1,33-500 мГр.

3.6.2 Состояние свободно радикальных процессов в венозной крови лактирующих коров при облучении «in vitro»

В главе 3.7 работы установлено, что кинетика генерации первичных и вторичных радикалов в пробах периферической крови крупного рогатого скота при воздействии малых доз облучения 1,55 и 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозах 1,55 и 1,55 мГр идентична. В клетках периферической крови развивается одинаковый кислородный эффект, это позволяет проводить экстраполяцию данных кинетики генерации АФК при облучении крови «in vitro» в малых дозах на кинетику образования АФК в крови животных при облучении в диапазоне малых доз. Наличие корреляционной связи между генерацией АФК в периферической крови при облучении «in vivo» в дозе 1,55 мГр/год и облучением «in vitro» в дозе 1,55 мГр дает возможность использовать облучение образцов крови «in vitro» в качестве модели естественных процессов.

Кинетика генерации свободных радикалов. Хемилюминесцентная кинетика генерации первичных и вторичных радикалов при облучении проб

крови коров в дозах 1,33 – 500 мГр «in vitro» характеризовалась двумя максимумами и имела специфические особенности при различной дозовой нагрузке.

Время достижения максимума ХЛ (Tmax I, Tmax II, мин.). Время продукции первичных люцигенинзависимых свободных радикалов в пробах периферической крови при облучении «in vitro» в диапазоне малых доз и пробах крови животных, имеющих фоновую дозовую нагрузку (0,92 мГр/год) – контрольная группа, достоверно отличалось (табл. 3.6.8)

Таблица 3.6.8 – Время (Tmax I, Tmax II) достижения пиков генерации первичных АФК при облучении крови коров «in vitro»

Поглощенная доза	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	Tmax (I), мин	Tmax (II), мин	Tmax (I), мин	Tmax (II), мин
контроль (n=43)	31,68±3,99	138,65±4,01	31,75 ±3,98	138,10±3,22
1,33 (n=23)	16,33±2,03**	155,33±10,99	19,67±0,33**	145,00±9,02
1,55-2,0 (n=28)	24,07±3,51	132,00±13,94	18,93±0,76**	130,73±6,61
2,50-4,0 (n=16)	19,67±1,87**	135,25±6,60	20,79±0,84**	126,25±6,47
4,50-6,0 (n=15)	19,29±2,36	146,43±7,82	18,92±0,57**	113,29±2,67***
50 (n=15)	17,17±0,48***	140,20±11,10	19,60±1,35**	126,60±5,60
100 (n=13)	17,50±0,50**	137,00±2,00	15,50±0,50***	120,50±5,50
200 (n=14)	20,00±0,50**	144,00±3,94	17,75±0,75**	147,50±5,32
300 (n=14)	17,25±0,85***	148,25±16,20	17,25±1,44**	165,50±6,13
400 (n=14)	16,60±1,06***	146,17±6,81	51,50±14,99	156,67±9,67
500 (n=18)	60,40±10,76*	141,38±8,12	56,57±11,00*	151,00±5,55

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

Облучение «in vitro» образцов крови в дозах 1,33-400 мГр уменьшало время формирования первого пика спонтанной генерации первичных радикалов (P<0,01). При воздействии дозы в 500 мГр на пробы крови первый пик ХЛ-реакции был образован на 28,72 мин., позже, чем в контрольных образцах (P<0,05). Время формирования второго пика спонтанной генерации первичных радикалов не изменялось при облучении и в среднем приходилось на 142,4±4,7 мин, что соответствовало статистическому диапазону изменчивости контрольных величин 138,65±4,01 мин.

При активации клеток частицами латекса в присутствии люцигенина при дозах 1,33-300 мГр формирование первого пика происходило достоверно быстрее, чем в пробах контроля (P<0,01). При дозе 500 мГр замедлялось формирование первого пика антигенактивированной хемилюминесцентной продукции первичных радикалов на 24,82 мин или в 1,8 раза медленнее относительно контрольных значений (P<0,05), аналогичная реакция установлена в реакции спонтанной генерации люцигенинзависимых радикалов. Время формирования второго пика антигенактивированной генерации первичных радикалов при облучении не изменялось, приходилось в среднем на 152,18±6,6 мин. в пробах контроля на 138,65±4,01 мин.

Время образования пиков (Tmax I, Tmax II) вторичных (люминолзависимых) радикалов при облучении «in vitro» в диапазоне малых доз от значений контроля достоверно отличалось (табл. 3.6.9).

Облучение «in vitro» образцов крови коров в дозах 50-100 и 300 мГр достоверно ускоряло время формирования первого пика спонтанной генерации вторичных радикалов. Первый пик спонтанной ХЛ-реакции вторичных радикалов при облучении проб крови в дозе 50 мГр регистрировался быстрее на 9,5 мин. (P<0,01), при дозе 100 мГр – на 12,6 мин (P<0,001), при облучении в дозе 200 мГр ускорение составило 7,97 мин. (P<0,05), при дозе 300 мГр – 12,3 мин. (P<0,001) относительно данных контроля.

Таблица 3.6.9 – Время (Tmax I, Tmax II) достижения пиков генерации вторичных АФК при облучении крови «in vitro»

Поглощенная доза,	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	Tmax (I), мин	Tmax (II), мин	Tmax (I), мин	Tmax (II), мин
Контроль (n=43)	24,64±2,77	148,28±2,85	31,18 ±3,80	117,92±2,69
1,33 (n=23)	18,50±1,22	153,33±10,87	27,67±4,63	140,00±6,04
1,55-2,0 (n=28)	18,33±1,85	136,60±5,20	18,08±0,56**	116,07±4,35
2,50-4,0 (n=16)	20,81±1,72	137,06±3,80	44,94±7,88	128,19±4,70
4,50-6,0 (n=15)	21,53±3,15	148,80±0,64	19,93±0,79**	110,00±3,33
50 (n=15)	15,17±1,38**	138,83±10,29	19,00±2,66*	113,00±3,96
100 (n=13)	12,00±1,00***	155,50±13,44	15,50±1,50***	106,50±10,50
200 (n=14)	16,67±2,30*	134,74±4,40	17,75±0,75**	147,50±5,32
300 (n=14)	12,33±2,25***	146,75±9,28	19,00±0,82**	126,75±4,99
400 (n=14)	19,20±1,99	153,33±5,38	18,60±0,47	121,00±9,32
500 (n=18)	31,00±4,66	151,57±4,45	41,63±10,61	112,50±6,68

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

При воздействии дозы в 500 мГр выявлена тенденция к замедлению времени формирования первого пика спонтанной продукции вторичных радикалов. Облучение не влияло на показатели Tmax (II), время формирования второго пика спонтанной генерации вторичных радикалов находилось в одном диапазоне изменчивости и не изменялась при облучении.

При активации клеток крови частицами латекса в присутствии люминола при дозах 1,55-2 мГр; 4,5-300 мГр формирование первого пика происходило достоверно быстрее, чем в пробах контроля.

Первый пик активированной генерации вторичных АФК при дозах 1,55-2 мГр формировался быстрее на 13,1 мин., при дозах 4,5-6,0 мГр – на 11,3 мин чем в пробах контрольной группы (P<0,01). Для образования Tmax (I) ХЛ-реакции люминолзависимых АФК при поглощенной дозе 50 мГр требовалось на 12,2 мин. меньше (P<0,05), при дозе 100 мГр – на 15,7 мин. (P<0,001), при дозе 200 мГр – на 13,4 мин. (P<0,01) и при поглощенной дозе 300 мГр – на 12,2 мин. (P<0,01) по сравнению с контрольными данными. При дозе 500 мГр установлена тенденция к замедлению времени формирования первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов. Облучение не влияло на показатели времени достижения максимума формировании второго пика генерации вторичных радикалов.

Максимальная интенсивность ХЛ (Imax I, Imax II, имп./с). Амплитуда первого и второго максимума спонтанной генерации первичных радикалов в пробах крови при облучении в дозе 1,33 мГр/год ниже, чем в пробах контроля (P<0,001). Установлено, что облучение в дозе 1,55 мГр достоверно увеличивало интенсивность первого максимума на 440,3 имп./с (P<0,05) и второго максимума – на 326,5 имп./с (P<0,01) по сравнению с данными контроля. При облучении «in vitro» проб крови в диапазоне поглощенных доз от 2,5 мГр до 50 мГр и при воздействии 400 мГр максимальная интенсивность пиков спонтанной генерации первичных радикалов не отличалась от данных контрольных проб. Выявлено снижение интенсивности Imax II при внешнем облучении в дозе 100 мГр – на 76,2% или в 4,2 раза (P<0,001), при дозе 200 мГр – на 52,4% или в 2,1 раза (P<0,05) относительно данных контроля. Определено уменьшение Imax I при воздействии дозы 300 мГр – на 58,6% или в 2,4 раза (P<0,001), при поглощенной дозе 500 мГр – на 34,7% или 1,5 раза (P<0,05) по сравнению с данными контроля (табл. 3.6.10).

Установлено снижение максимальной интенсивности первого и второго максимумов антигенактивированной генерации первичных радикалов при облучении «in vitro» в дозах 1,33; 200; 400;500 мГр по сравнению с контрольными данными. При поглощенной дозе 1,33 мГр уменьшалось Imax I на 50% или в 2 раза, Imax II – на 34,4% или в 1,5 раза по сравнению с данными контрольной группы (P<0,01). Дозы ионизирующего излучения в диапазоне 1,55 мГр-4,0 мГр, 50мГр, 100 мГр не влияют на высоту первого и второго максимума ХЛ-реакции генерации первичных АФК, значения Imax I и Imax II при этих дозах находились диапазоне значений контроля. Тогда как при поглощенной дозе 4,5-6,0 мГр установлено увеличение максимальной интенсивности первого пика на 488,1 имп./с. или в 1,6 раза (P<0,001) и второго – на 334,4 имп./с. или в 1,5 раза (P<0,01) антигенактивированной продукции люцигенинзависимых радикалов по сравнению с данными контроля.

Увеличение значений поглощенной дозы радиоактивного излучения в образцах крови приводила к повторному снижению максимальной интенсивности ХЛ-реакции. При поглощенной дозе 200 мГр Imax I снижалось на 43% или в 1,8 раз (P<0,01), Imax II – на 42,5% или в 1,7 раза (P<0,05) относительно данных контроля. При антигенактивированной продукции первичных радикалов облучение проб крови в дозе 300 мГр уменьшало максимальную интенсивность первого максимума на 66% или в 2,9 раза, второго максимума – на 62,2% или в 2,6 раза по сравнению с данными контроля. При облучении проб в дозе 400 мГр снижалось Imax I на 67,5% или в 3,1 раза(P<0,001), Imax II – на 40,1% или в 1,7 раза(P<0,01) в сравнении со значениями контрольных проб. Воздействие ионизирующего излучения в дозе 500 мГр вызвало минимальное снижение максимальной интенсивности ХЛ-реакции, значение Imax I упало на 44,4 % или в 1,8 раза, величина Imax II уменьшилась на 35,2% или в 1,5 раза относительно контрольных величин (P<0,01).

Таблица 3.6.10 – Максимальная интенсивность (Imax(I), Imax(II)) продукции первичных АФК при облучении «in vitro» крови

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
Спонтанная генерация			
контроль	43	553,75±62,31	445,00±65,04
1,33	23	218,50±36,33***	127,33±44,68***
1,55-2,0	28	994,07±169,99*	771,47±135,00**
2,50-4,0	16	877,13±183,77	271,00±36,29
4,50-6,0	15	701,08±75,55	310,00±54,55
50	15	415,60±92,59	238,50±86,22
100	13	513,50±18,50	106,00±31,00***
200	14	315,33±191,00	211,67±82,14*
300	14	229,25±60,54***	379,00±42,01
400	14	449,00±105,62	393,80±79,25
500	18	361,63±59,47*	521,13±78,91
Активированная генерация			
контроль	43	756,35±90,01	673,45±67,37
1,33	23	375,00±98,09**	441,67±47,22**
1,55-2,0	28	1113,64±182,75	1005,13±188,61
2,50-4,0	16	753,13±132,48	656,06±100,81
4,50-6,0	15	1244,38±84,02***	1007,85±94,79**
50	15	935,00±125,90	681,50±79,72
100	13	757,50±74,50	517,00±52,00
200	14	430,75±76,49**	387,50±84,29*
300	14	254,75±37,34***	254,57±56,70***
400	14	246,00±49,81***	403,17±51,86**
500	18	420,29±80,37**	436,43±37,74**

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

На основании данных таблицы 3.6.10 была построена частотная гистограмма, отражающая распределение максимальной интенсивности первых и вторых пиков спонтанной и антигенактивированной генерации первичных радикалов, (рисунок 3.6.9).

Распределение максимальной интенсивности первого пика спонтанной генерации первого и второго пиков антигенактивированной ХЛ имеют вид логнормального распределения с модой, принадлежащей диапазону поглощенных доз в 1,55-2мГр и 4,5-6мГр.

Динамика распределений значений второго максимума спонтанной генерации первичных радикалов имеет бимодальных характер, с модой 1,55-2мГр и 500мГр. На основании данных рисунка 3.6.9 можно заключить, что при воздействии на кровь ионизирующего излучения в диапазоне доз 1,55-2,0 мГр и 4,5-6,0 мГр и введении частиц латекса увеличивается амплитуда первого и второго пика антигенактивированной реакции. При воздействии доз 200-500мГр не происходит увеличение высоты амплитуды первого и второго максимумов антигенактивированной генерации первичных радикалов по сравнению со спонтанной продукцией, значения принадлежат к одному диапазону изменчивости.

Установлено достоверное снижение высоты первого максимума (Imax I, имп./с) спонтанной генерации вторичных радикалов в крови животных при дозах облучения 1,33; 50, 200, 300 и 500 мГр, второго максимума – при дозе 100 мГр по сравнению с данными контроля (табл. 3.6.11). Значение Imax I спонтанной ХЛ-реакции при облучении «in vitro» образцов крови в дозе 1,33 мГр снижалась на 206,66 имп./с или 63,8% ($P<0,05$).

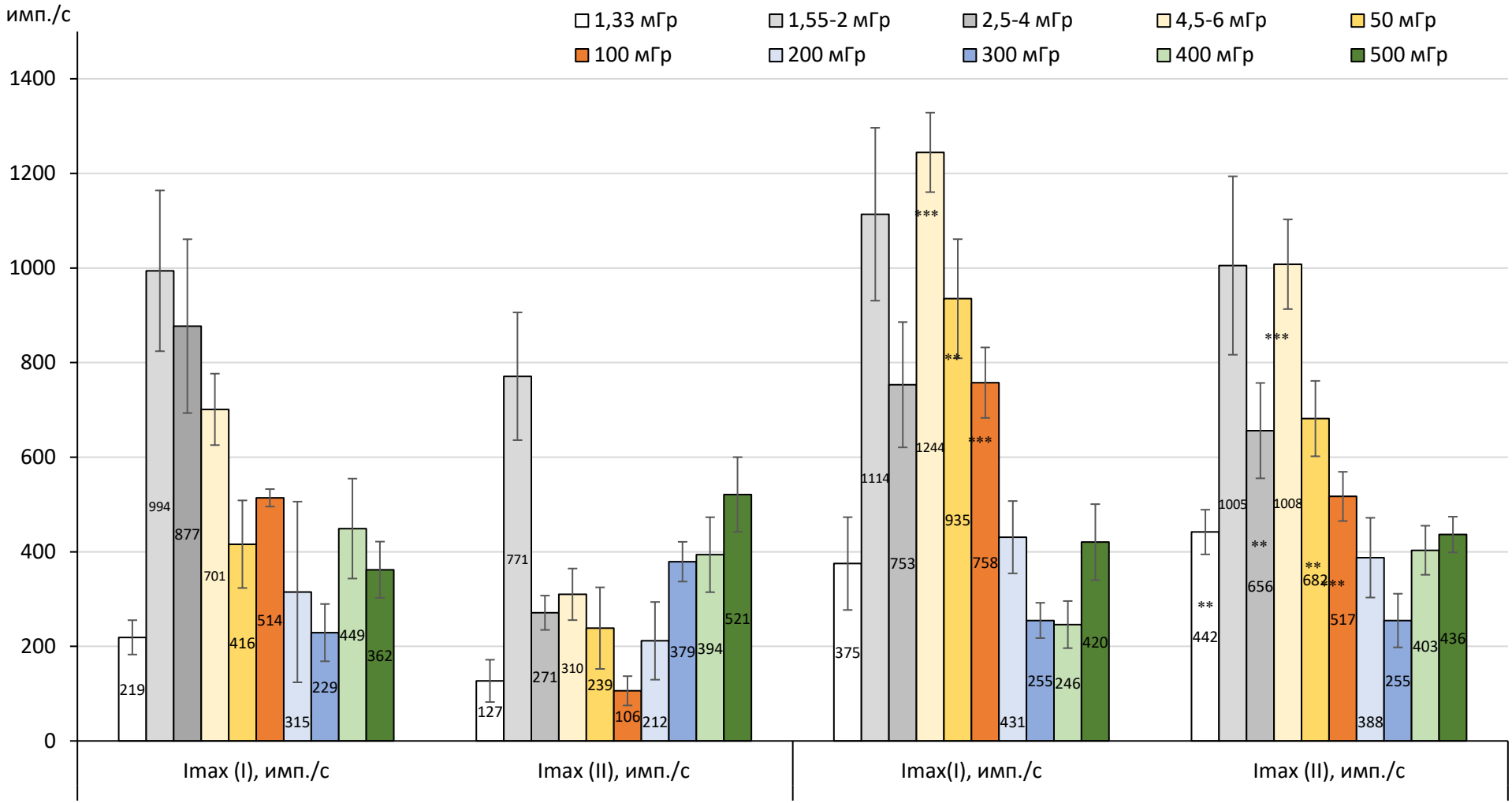


Рисунок 3.6.9 – Максимальная интенсивность (Imax I, Imax II) генерации первичных люцигенинзависимых АФК клетками крови коров при облучении «in vitro»: **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к спонтанной генерации

Таблица 3.6.11 – Максимальная интенсивность генерации (Imax I, Imax II) вторичных (люминолзависимых) АФК при облучении крови коров «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
Спонтанная генерация			
контроль	43	570,16±91,18	463,92±73,59
1,33	23	363,50±19,19*	478,33±78,88
1,55-2	28	1417,08±247,00**	487,71±127,02
2,50-4	16	733,79±129,02	336,00±62,40
4,50-6	15	583,47±81,73	325,40±54,46
50	15	275,20±54,12**	259,00±77,14
100	13	531,50±2,50	71,00±14,00***
200	14	236,67±18,41***	347,33±77,56
300	14	238,33±52,54**	363,00±58,21
400	14	641,50±242,14	461,60±129,81
500	18	280,57±66,55*	325,50±65,40
Активированная генерация			
контроль	43	1826,68±179,58	1093,10±100,20
1,33	23	932,33±99,57**	1403,67±30,32**
1,55-2	28	1807,21±228,69	1290,69±314,47
2,50-4	16	1382,50±250,76	1153,00±136,70
4,50-6	15	3025,27±171,34***	1359,20±180,14
50	15	2536,60±131,71	1077,00±265,45
100	13	1790,50±256,50	611,00±6,0***
200	14	430,75±76,49***	287,50±84,29***
300	14	565,33±106,92**	406,67±86,86**
400	14	1100,00±150,15**	632,60±104,29**
500	18	2492,67±550,91	1039,63±190,35

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

При облучении проб в дозах 1,55-2мГр показатель Imax I увеличился на 846,92 имп./с или в 2,5 раза по сравнению с контрольными данными (P<0,01), аналогичная динамика при этой дозе регистрировалось при генерации первичных радикалов. Максимальная интенсивность второго пика спонтанной генерации вторичных АФК при дозах 1,55-2мГр не отличалась от контрольных величин. Дальнейшее увеличение дозы от 2,5 мГр до 6 мГр не отражалось на высоте амплитуды первого и второго максимумов спонтанной генерации вторичных АФК.

Внешнее облучение проб крови в дозе 50 мГр уменьшало значение Imax I на 294,9 имп./с или на 48,3% (P<0,01), в дозе 200 мГр – на 333,5 имп./с или на 41,5% (P<0,001), в дозе 300мГр – на 331,8 имп./с или на 41,8% (P<0,01), в дозе 500 мГр – на 290 имп./с или на 49,2 % относительно данных контроля (P<0,05). При этих дозах не установлено различий по амплитуде максимальной интенсивности второго пика ХЛ-реакции спонтанного образования вторичных радикалов.

Воздействие на пробы крови ионизирующего излучения в дозе 100 мГр не изменяло значение Imax I, но уменьшало Imax II спонтанной генерации люминолзависимых радикалов на 392,9 имп./с или на 84,7% в сравнении с контрольными данными (P<0,001).

Максимальная интенсивность пиков антигенактивированной генерации вторичных АФК под воздействием «in vitro» ионизирующего излучения в малых дозах 1,33 мГр, 4,5-6,0 мГр, 100-400 мГр изменялось относительно контрольных значений. Уменьшение значений Imax I регистрировалось при минимальной дозе – 1,33 мГр, при этой дозе максимальная интенсивность первого пика снизилась 1194,4 имп./с или на 48,9% относительно данных контроля (P<0,01). При этой дозе увеличилось значение Imax II на 310,6 имп/с или в 1,3 раза по сравнению с контролем (P<0,01).

При воздействии ионизирующего излучения в дозах 1,55-4 мГр и 50 мГр значение Imax I и Imax II не изменялось относительно контрольных

величин. При дозах 4,4-6,0 мГр зарегистрирован рост показателя Imax I в 1,7 раза или на 1198,6 имп./с относительно данных контроля (P<0,01), при этом значение Imax II не отличалось от данных контроля.

Первый пик максимальный активности активированного образования люминолзависимых радикалов при облучении в дозе 200 мГр понизился на 1395,9 имп./с. или на 76,4% (P<0,001), при дозе 300 мГр – на 1260,7 имп./с или на 69,1%(P<0,01), при дозе 400 мГр – на 726,7 имп./с или на 39,8% (P<0,01) по сравнению контрольными данными. Второй пик максимальный активности активированного образования люминолзависимых радикалов при облучении в дозе 100 мГр уменьшился на 482,1 имп./с. или на 44,1% (P<0,01), при дозе 200 мГр – на 805,6 имп./с или на 73,7 % (P<0,001), при облучении в дозе 300 мГр – на 686,4 имп./с или на 62,9% (P<0,01), при дозе 400 мГр – на 460,5 имп./с или на 42% (*P<0,01) по сравнению данными контроля.

На основании данных таблицы 3.6.11 была построена гистограмма, отражающая распределение высоты первых и вторых пиков спонтанной и антигенактивированной генерации первичных радикалов (рисунок 3.6.10).

Распределение высот первого и второго пика спонтанной генерации имеют вид бимодального распределения, с модой принадлежащей диапазону 1,55-2 мГр и 400 мГр. Динамика распределений значений первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов имеет бимодальный характер, с модой 4,5-6мГр и 500мГр.

На основании данных рисунка 3.6.10 можно заключить, что при воздействии на кровь ионизирующего излучения в диапазоне доз 1,33-500 (за исключением доз в 1,55-2 и 400 мГр) введение частиц латекса достоверно потенцировало увеличение максимальной интенсивности первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов.

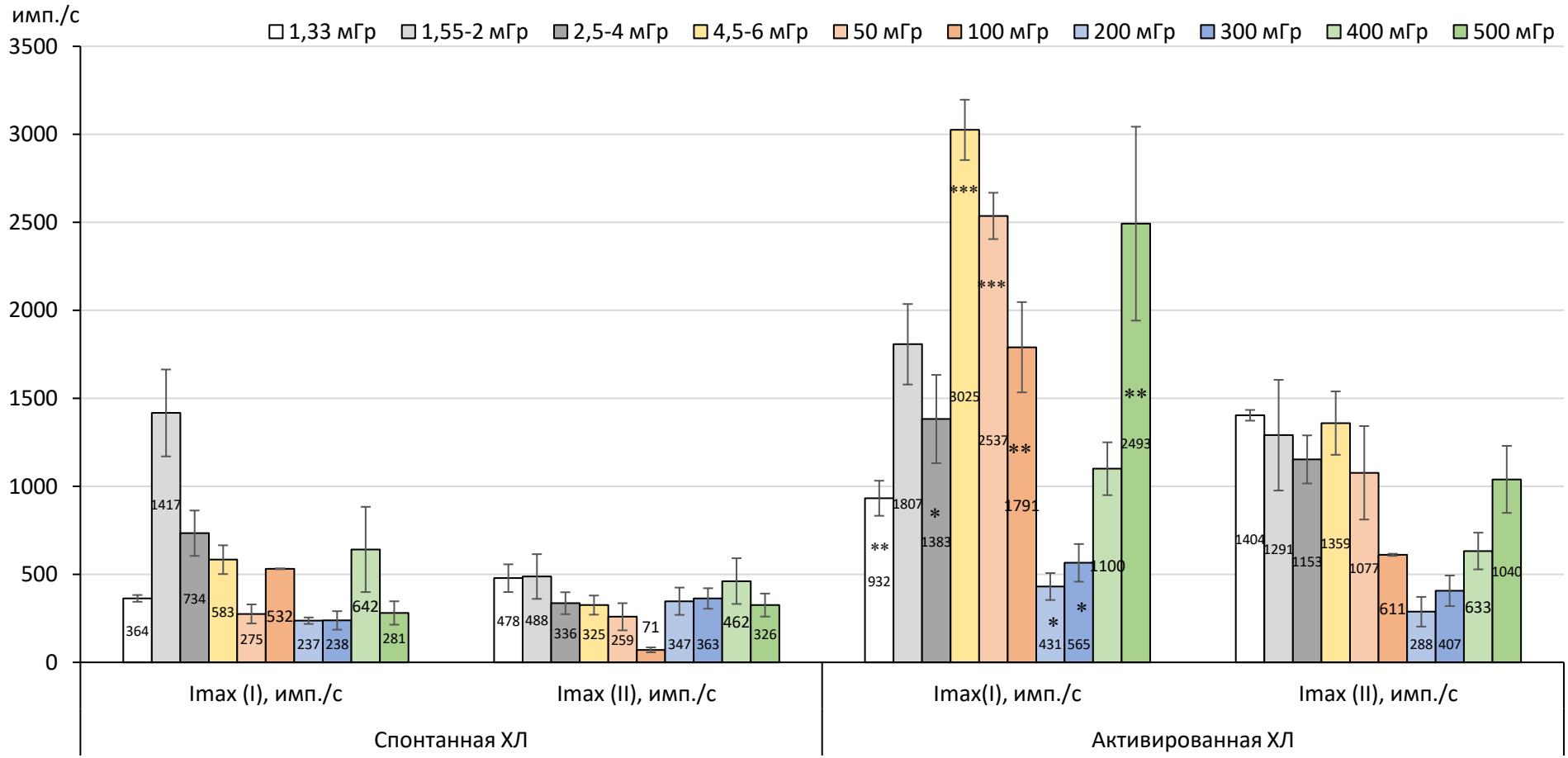


Рисунок 3.6.10 – Максимальная интенсивность Imax I, Imax II, генерации вторичных люминол зависимых АФК клетками крови коров при облучении «in vitro»: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к спонтанной генерации

Дозы облучения в диапазоне от 1,33 до 100мГр и 500мГр увеличивали максимальную активность второго пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов. При воздействии доз в диапазоне 200-400мГр не происходило увеличение высоты пика максимальной интенсивности второго максимума антигенактивированной генерации вторичных радикалов по сравнению со спонтанной продукцией, значения принадлежали одному диапазону изменчивости.

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). Суммарное количество первичных радикалов, спонтанно генерировавшихся за время ХЛ-реакции в образцах крови при дозах облучения 1,55-2,0 мГр, превышало в 1,8 раза или на 2,86 млн. имп./180мин. значения контроля (0,92 мГр/год), (P<0,01). Дозы от 50 до 300 мГр ингибировали спонтанную продукцию первичных радикалов. При облучении проб крови в дозе 50 мГр количество спонтанных первичных АФК уменьшалось в 1,9 раза или на 1,62 млн. имп./180 мин. (P<0,01), при дозе 100 мГр – в 2,1 раза или на 1,8 млн. имп./180 мин (P<0,001), при дозе 200 мГр снижение регистрировалось в 1,9 раза или на 1,7 млн. имп./180 мин. (P<0,05), при дозе 300 мГр в 1,6 раза или на 1,29 млн. имп./180 мин. (P<0,01) по сравнению с контрольными значениями (табл.3.6.12).

При антигенактивированной генерации люцигенинзависимых радикалов регистрировалось сокращение продукции АФК при дозах 1,33; 200; 300 и 400 мГр. Антиген активированная продукция первичных радикалов при облучении проб крови в дозе 1,33 мГр уменьшалось на 2 млн. имп./180 мин. или на 42% (P<0,05). При воздействии ионизирующего излучения в дозе 200 мГр светосумма снижалась на 2,7 млн. имп./180 мин. или на 47,4 %, при облучении в дозе 300мГр – на 2,92 млн. имп./180 мин. или на 51% (P<0,001), в дозе 400 мГр – на 2,77 млн. имп./180 мин. или на 48% относительно контрольных данных (P<0,001). При дозах 1,55-2,0 мГр и 4,5-6 мГр наблюдалось увеличение продукции люцигенин зависимых радикалов по сравнению с данными контроля (0,92мГр/год). При облучении образцов крови в диапазоне доз от 1,55 мГр до 2,0 мГр количество первичных АФК

антигенактивированной ХЛ-реакции возрастало в 1,6 раза или на 3,22 млн. имп./180 мин. (P<0,05), при облучении в дозах 4,5-6,0 мГр – в 1,7 раза или на 3,74 млн. имп./180 мин (P<0,001) по сравнению с контрольными величинами.

Таблица 3.6.12 – Светосумма люцигенин зависимых АФК продуцированных клетками крови при облучении «in vitro» (S, млн. имп/180 мин.)

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Спонтанная генерация	Активированная генерация
контроль	43	3,50±0,37	5,70±0,57
1,33	23	1,81±0,50	3,30±0,30*
1,55-2,0	28	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	15	1,88±0,37**	7,06±1,01
100	13	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.

На основании данных таблицы 3.6.12 была построена гистограмма распределения суммарной продукции первичных АФК (млн. имп./180мин) согласно дозам и отражающая степень продукции АФК при воздействии антигена (введение латекса – антиген активированная ХЛ), рисунок 3.6.11.

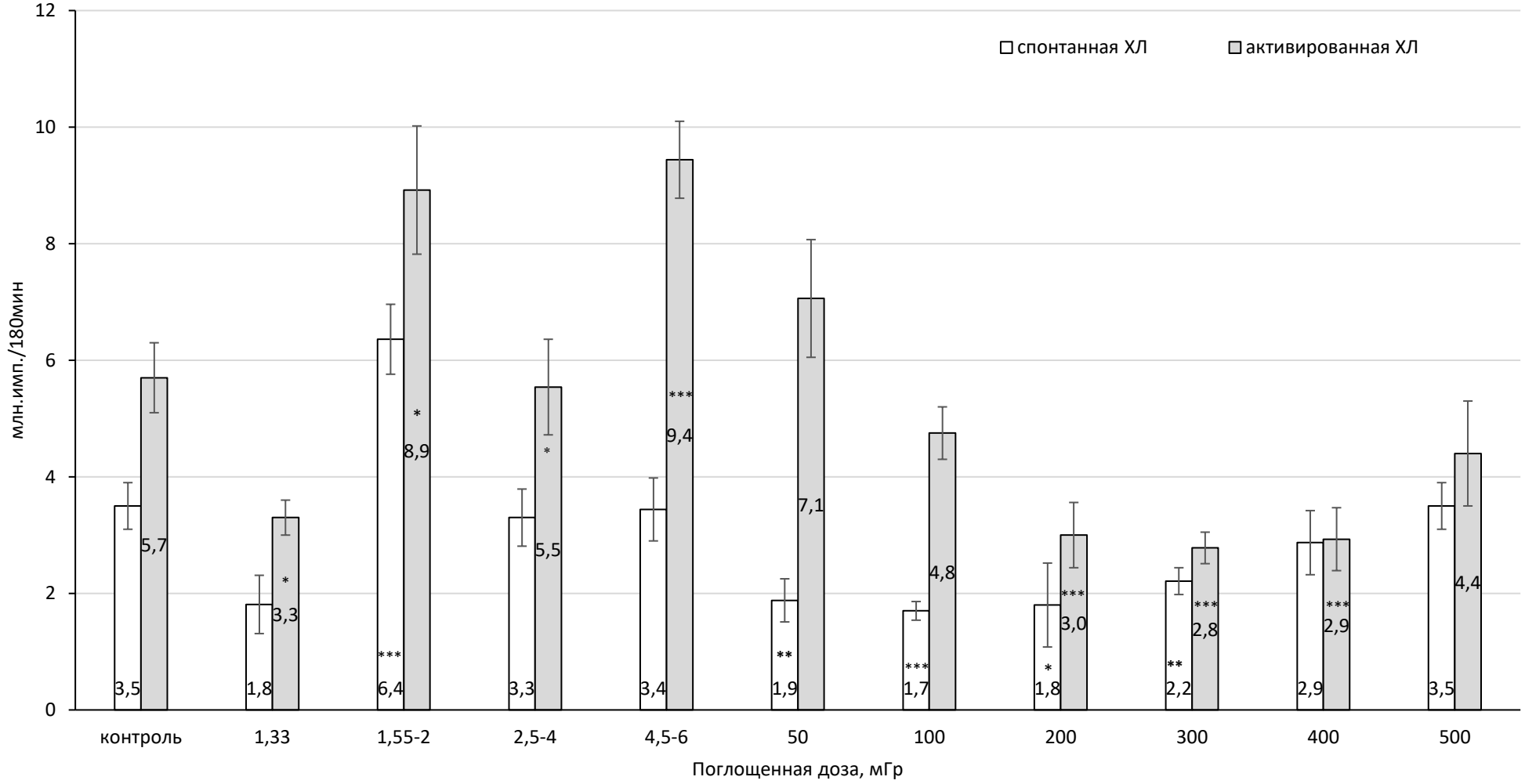


Рисунок 3.6.11 – Светосумма люцигенин зависимых АФК клетками крови облучении «in vitro»: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к контролю

Распределение суммарной продукции спонтанно образующихся первичных радикалов при воздействии малых доз имеет вид нормального распределения с модой, принадлежащей диапазону 1,55-2мГр. Распределение суммарного образования антиген активированных первичных радикалов имеет вид бимодального распределения, с модой принадлежащей диапазонам 1,55-2 мГр и 4,5-6 мГр.

Введение частиц латекса достоверно увеличивает продукцию первичных радикалов при диапазоне доз 1,33-100 мГр. Дозы, входящие в вышеприведённый диапазон, стимулирующе действовали на клетки крови. Дозы в диапазоне 200-500 мГр не потенцировали ожидаемую генерацию АФК при воздействии антигена, что является свидетельством снижения реактивности клеток периферической крови.

Суммарное количество вторичных АФК, генерирующихся спонтанно при облучении «in vitro» крови крупного рогатого скота, в диапазоне от 1,33 мГр до 50 мГр и 200-500 мГр находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось от данных контрольных проб (табл. 3.6.13), исключение составляли значения, полученные при облучении проб в дозе 100 мГр. При воздействии на клетки крови «in vitro» ионизирующего излучения в дозе 100 мГр снижалась спонтанная продукция вторичных радикалов на 56,9% или на 1,97 млн. имп./180 мин. относительно контрольных значений ($P<0,001$).

При активации клеток крови путем введения латекса в пробы, подвергнутых облучению в дозе 4,5-6,0 мГр увеличивалась суммарная продукция вторичных радикалов (табл. 3.6.13) в 1,3 раза или на 3,6 млн. имп./180 мин. относительно данных контроля ($P<0,05$), аналогичное повышение при этой дозе регистрировалось при генерации антигенактивированной продукции первичных радикалов.

При воздействии ионизирующего излучения в дозах от 100 мГр до 300 мГр угнеталось образование антигенактивированных вторичных радикалов. При облучении образцов крови в дозе 100 мГр снижалось количество антигенактивированных вторичных радикалов на 34,6% или на 3,7 млн.

имп./180 мин., при дозе 200 мГр – на 71,9% или на 7,7 млн. имп./180 мин., при дозе 300 мГр – на 54% или на 5,78млн. имп./180 мин. относительно контрольных данных (P<0,001).

Таблица 3.6.13 – Светосумма вторичных(люминолзависимых) радикалов, образованных клетками крови при облучении «in vitro», млн. имп/180 мин.

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Спонтанная генерация	Активированная генерация
0,92 контроль	43	3,46±0,48	10,70±0,93
1,33	23	3,59±0,88	10,11±0,60
1,55-2,0	28	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	15	2,13±0,39	11,00±1,71
100	13	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

На основании данных таблицы 3.6.13 была построена гистограмма распределения суммарной продукции вторичных АФК (млн. имп./180мин) согласно дозе и отражающая степень продукции АФК при воздействии антигена (введение латекса – антиген активированная ХЛ), рисунок 3.6.12.

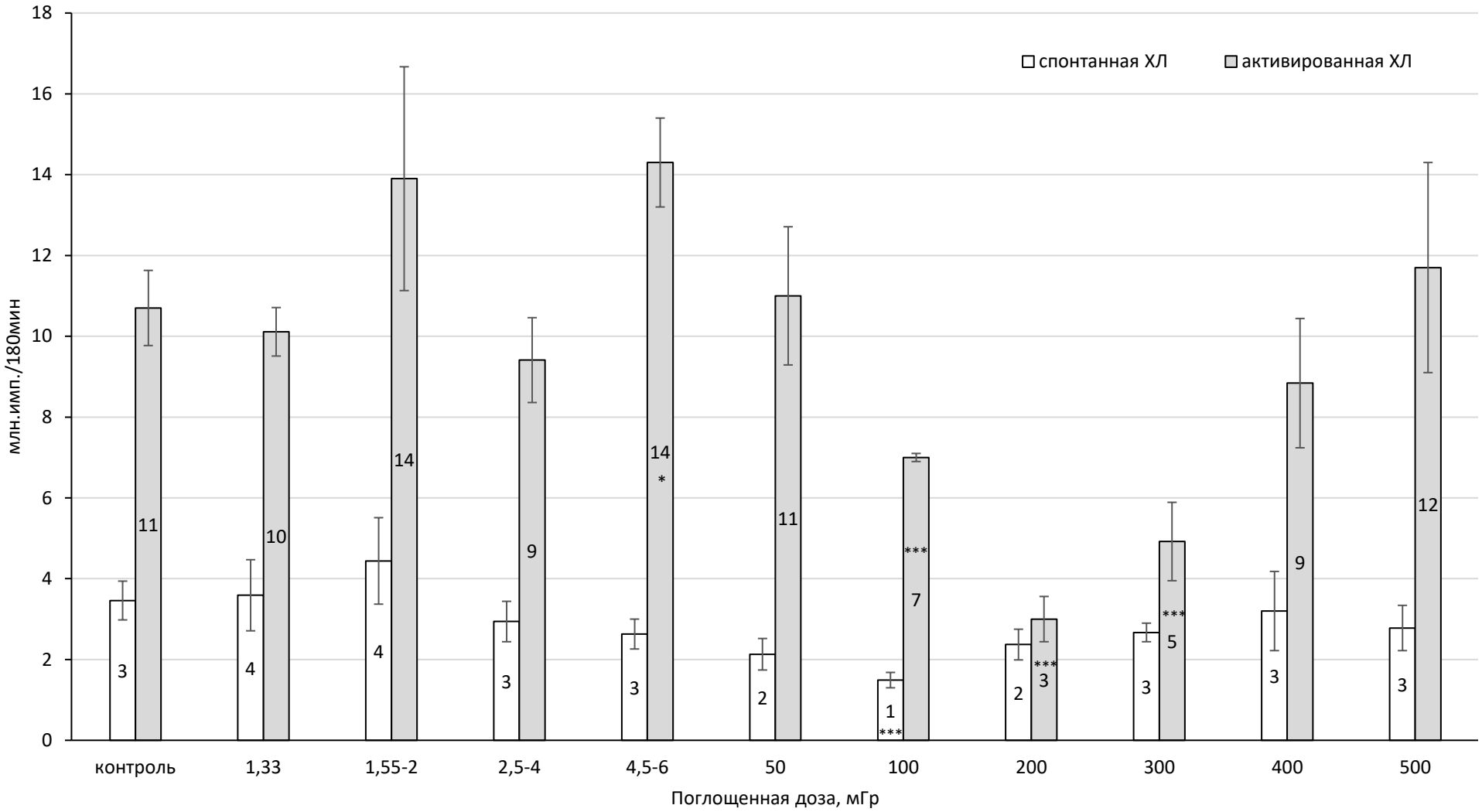


Рисунок 3.6.12 – Светосумма люминолзависимых АФК, продуцированных клетками крови при облучении «in vitro»: **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к спонтанной генерации

Распределение суммарной продукции спонтанно образующихся вторичных радикалов при воздействии малых доз ионизирующего излучения имеет вид нормального распределения, с модой, принадлежащей диапазону 1,55-2мГр. Распределение суммарного образования антигенактивированных вторичных радикалов имеет вид бимодального распределения с модой, принадлежащей диапазонам 1,55-2 мГр и 4,5-6 мГр, полученные значения идентичны модам распределения значений продукции первичных АФК. Введение частиц латекса достоверно увеличивает продукцию первичных радикалов при диапазоне доз 1,33-500мГр, за исключением дозы в 200мГр. Антигенная активация клеток крови «in vitro» частицами латекса потенцирует активацию прооксидантных реакций. Увеличение количества активных форм кислорода вляется доказательством реактивности клеток крови животных. Поглощенные дозы в диапазонах 1,33-100 мГр и 300-500 мГр стимулирующе действуют на клетки периферической крови.

Индекс активации (ИА, усл.ед.). На основании полученных данных рассчитан индекс активации (ИА), который отражает способность клеток крови к генерации АФК в ответ на антигенную стимуляцию (табл. 3.6.14).

На основании анализа данных, представленных в таблице 3.7.13, можно заключить, что дозы 4,5-6 мГр и 200 мГр оказывают стимулирующее действие на способность клеток к генерации первичных радикалов АФК, доза в 500 мГр ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов. Поглощенные дозы в диапазоне 2,5-100мГр стимулируют клетки крови к генерации люцигенин зависимых АФК. На основании данных таблицы 3.6.14 была построена гистограмма распределения значений ИА (усл.ед.) согласно дозам (рисунок 3.6.12).

Распределение значений ИА первичных (люцигенинзависимых) АФК имело вид бимодального распределения с модой, принадлежащей дозам 1,33 мГр и 200 мГр. Распределение значений ИА вторичных радикалов (люминолзависимых) имело вид нормального распределения с модой, принадлежащей диапазону 4,5-6,0 мГр.

Таблица 3.6.14 – Индекс активации клеток крови коров при облучении «in vitro», усл.ед

Поглощенная доза	Количество проб	Индекс активации, усл.ед	
		люцигенин	люминол
0,92 (контроль)	43	2,30±0,19	2,64±0,47
1,33	23	3,79±1,90	2,92±1,19
1,55-2,0	28	1,76±0,26	3,68±0,53
2,50-4,0	16	2,28±0,49	4,77±0,75*
4,50-6,0	15	3,12±0,25*	7,26±1,06***
50	15	2,81±0,60	6,36±1,53*
100	13	2,85±0,53	4,77±0,54**
200	14	4,28±0,71*	3,84±1,01
300	14	2,16±0,42	1,87±0,35
400	14	3,11±0,58	2,36±0,50
500	18	1,46±0,35*	2,27±0,86

*P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению контролю (0,92мГр)

В результате хемилюминесцентного анализа установлено, что дозы ионизирующего излучения в диапазоне до 300 мГр ускоряли время формирования первого пика спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов.

Поглощенная доза в 1,33 мГр снижала максимальную интенсивность спонтанной генерации первичных радикалов, первого пика антигенактивированной генерации вторичных радикалов и увеличивала максимальную интенсивность второго максимума антигенактивированной генерации вторичных АФК. Поглощенные дозы: 1,55-2, 50, 200; 300 мГр снижали амплитуду первого пика спонтанной и антигенактивированной генерации первичных радикалов.

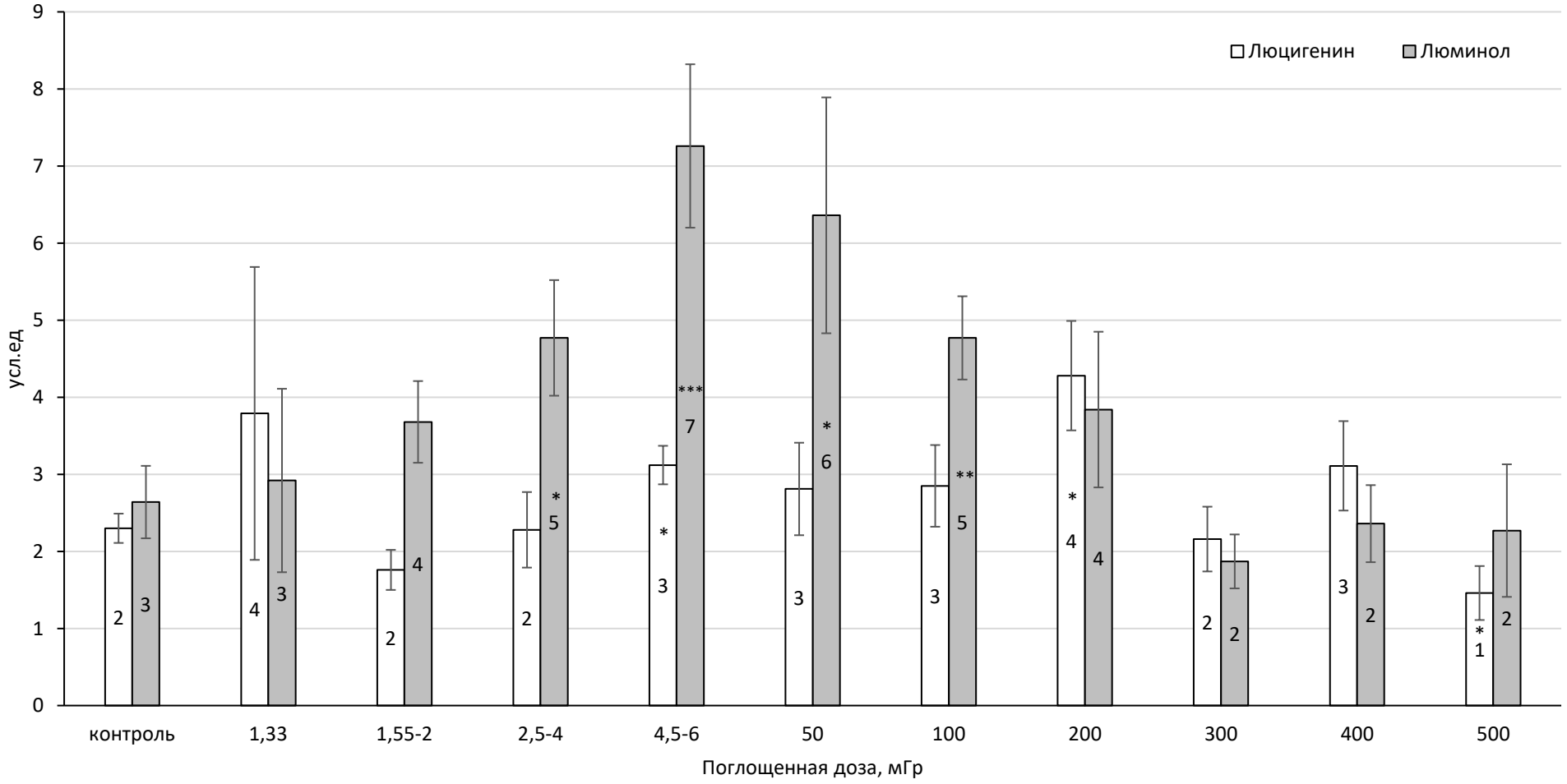


Рисунок 3.6.12 – Индекс активации АФК клетками крови при облучении «in vitro»: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 по отношению к контролю (0,92мГр/год)

Дозы 200; 300; 400 мГр снижали максимальную интенсивность первого и второго пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов, доза в 100 мГр снижала высоту второго пика антиген активированных вторичных радикалов.

Дозы 1,33-100 мГр увеличивали максимальную интенсивность первого и второго пиков антигенактивированной продукции первичных радикалов, доза 1,55 мГр увеличивала максимальную интенсивность первого и второго максимума спонтанной генерации первичных радикалов. Увеличение максимальной интенсивности первого пика антигенактивированной продукции вторичных АФК наблюдалось при дозах 4,5-6,0 мГр, первого и второго пиков антигенактивированной продукции первичных радикалов – при дозах 1,33 -100 мГр.

Увеличение спонтанной генерации первичных радикалов происходило при дозах 1,55-2 мГр/год, антигенактивированной продукции первичных и вторичных радикалов – при дозах 4,5-6мГр.

Ингибирование продукции первичных радикалов происходило при дозах от 50 мГр до 300 мГр, спонтанной генерации при дозах 1,33 мГр; 200 мГр; 300 мГр, антигенактивированной генерации АФК при дозе 400 мГр.

Снижение продукции антигенактивированных вторичных радикалов происходило при дозах 100-300мГр.

Поглощенные дозы в диапазоне 1,33-100 мГр стимулирующе действовали на клетки крови. Увеличение количества АФК является доказательством реактивности клеток крови животных.

Дозы 200-500 мГр не потенцировали генерацию АФК при воздействии антигена, что являлось свидетельством снижения иммунореактивности клеток периферической крови.

При облучении в дозе в500 мГр замедлялось формирование первого пика спонтанной и активированной генерации первичных АФК, при этом выявлена тенденция к замедлению формирования первого пика спонтанной и антигенактивированной продукции вторичных радикалов. Доза в 500 мГр

ингибировала реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов.

В результате анализа распределения полученных результатов установлено бимодальное распределение 5 хемилюминесцентных характеристик. Амплитуда максимума при спонтанной генерации первичных радикалов имела две моды: первая принадлежала диапазону доз 1,55-2 мГр, вторая 400 мГр. Бимодальное распределение регистрировалось в значениях интенсивности первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов, первый пик приходился на дозы 4,5-6мГр, второй на 500мГр. Максимальный суммарный объем спонтанно образованных первичных и вторичных радикалов приходился на дозы 1,55-2мГр и 500мГр. При антиген активированной генерации первичных и вторичных радикалов, максимальное количество АФК генерировалось при дозах 1,55-2 и 4,5-6мГр. Бимодальное распределение с модой 1,33и 200мГр установлено в распределении значений индекса активации первичных радикалов.

В результате работы установлены следующие радиобиологические эффекты в периферической крови облученной «in vitro» в диапазоне доз от 1,33 мГр до 500 мГр. Результаты гематологических, биохимических, иммунобиологических показателей, генерация активных форм кислорода в периферической крови лактирующих коров при облучении «in vitro» в дозах 1,33 – 500 мГр при дозах: 1,55 мГр; 1,75 мГр и 2,0 мГр; 2,5 мГр; 3,0 мГр; 3,5 мГр и 4 мГр; 4,5 мГр; 5,0 мГр; 5,5мГр и 6 мГр находятся в одном диапазоне изменчивости.

Достоверно установлено, что однократное гамма-облучение периферической крови «in vitro» в дозах 1,33-500 мГр/год не изменят: количество лейкоцитов, время формирования второго пика спонтанной, антигенактивированной генерации первичных и вторичных радикалов, суммарное количество спонтанных вторичных АФК.

При поглощенной дозе 1,33 мГр снижается количество эритроцитов и фагоцитарного индекса, доза 2,5-4 мГр является стартовой для снижения

количества гемоглобина, с дозы 50 мГр регистрируется ускорение СОЭ. Концентрация общего белка снижается при дозах 50 и 100 мГр и увеличивается при 200 мГр.

Поглощенные 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.

Установлено бимодальное распределение результатов:

- концентрация альфа-глобулинов с модой в 1,33 мГр и 100мГр;
- значения ИА первичных радикалов с модой в 1,33и 200мГр;
- фагоцитарный индекс с модой, принадлежащей диапазону 1,55-2 мГр и 300мГр;
- концентрация альбуминов с модой 2,5-4мГр и 300мГр;
- АСТ, с модой 2,5-4мГр и 400мГр;
- содержание бета-глобулинов с модой 1,33мГр; 200 и 400мГр.
- амплитуда максимумов спонтанной генерации первичных радикалов с модой 1,55-2 и 400 мГр;
- амплитуда первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов с модой 4,5-6мГр и 500мГр;
- спонтанная генерация первичных и вторичных радикалов с модой 1,55-2мГр и 500мГр;
- антигенактивированная генерация первичных и вторичных радикалов с модой 1,55-2 и 4,5-6мГр;

Бимодальное распределение является характерным воздействия малых доз на биологическую ткань, эффект нелинейной бимодальной зависимости подразумевает наличие разрыва между дозами, вызывающими повреждения в биообъектах и инициирующими системы их восстановления. В связи с этим, пока системы восстановления не работают с полной интенсивностью, биоэффект нарастает с увеличением дозы, затем по мере усиления процессов

восстановления или сохраняется на том же уровне, или уменьшается вплоть до элиминирования, или может сменить свой знак и вновь нарастает с увеличением дозы, когда повреждения в биообъектах превалируют над восстановлением.

3.7 Анализ тождественности и корреляционной зависимости хемилюминесцентных характеристик крови коров при облучении «in vivo» и «in vitro»

Установление корреляционной зависимости между результатами, полученными от животных, находящихся под воздействием малых поглощенных доз (облучение «in vivo») и при облучении проб периферической крови (воздействие «in vitro») позволит экстраполировать результаты, полученные при облучении «in vitro» в ответную реакцию многоклеточного организма на внешнее гамма-облучение в диапазоне субклинических доз.

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, такой же набор показателей был определен в образцах крови при внешнем гамма-облучении проб крови «in vitro» в аналогичных 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, биохимические показатели сыворотки крови носили разно векторный характер (увеличивался уровень щелочной фосфатазы, креатинина и альбуминов, снижалось содержание общего белка, изменялась концентрация

АЛТ и АСТ). Субклинические дозы увеличивали показатель Tmax I спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов, суммарные объемы спонтанной генерации и снижали продукцию антигенактивированного образования первичных и вторичных радикалов.

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 содержания альф-глобулинов. Облучение в дозе в 1,33 мГр уменьшало Tmax I спонтанной и активированой генерации первичных радикалов, снижало Imax I и Imax II спонтанной, антигенактивированной генерации первичных радикалов, Imax I спонтанной генерации вторичных АФК, увеличивало Imax II антигенактивированной генерации вторичных АФК. Облучение в дозе 1,33 уменьшало суммарное количество антигенактивированных первичных радикалов. Поглощенная доза 1,55 уменьшала Tmax I активированной генерации первичных и вторичных радикалов, снижала Imax I активированной генерации вторичных радикалов. При воздействии дозы 1,55 мГр в пробах крови увеличивается Imax I и Imax II спонтанной продукции первичных радикалов, Imax I спонтанной генерации вторичных радикалов и суммарное количество спонтанных и активированных первичных АФК.

На основании идентичности установленных гематологических, биохимических и хемилюминесцентных характеристик выполнена оценка идентичности изменений ХЛ-показателей с последующим расчетом корреляционной зависимости.

3.7.1 Тождественное равенство и корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,33 мГр/год

Время достижения максимума ХЛ (Tmax I, Tmax II, мин.). Хемилюминесцентным методом установлен достоверно (P<0,001) более короткий временной период формирования пика спонтанной генерации первичных люцигенинзависимых радикалов в пробах, облученных «in vitro». Время достижения второго максимума спонтанной хемилюминесценции «in vivo» и «in vitro» статистически не отличалось, Tmax (II) во всех пробах в среднем приходилось на 150,57±7,17 мин. (таб.3.7.1), что указывало на идентичность течения процесса ХЛ-реакции.

Таблица 3.7.1 – Время достижения пиков генерации первичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ-реакция	Вид воздействия	Кол-во проб	Tmax I, мин.	Tmax II, мин.
спонтанная	«in vivo»	38	35,87±4,03	145,82±3,35
	«in vitro»	23	16,33±2,03***	155,33±10,99
активированная	«in vivo»	38	36,26±4,43	138,66±4,17
	«in vitro»	23	19,67±0,33***	145,00±9,02

Примечание: ***P < 0,01

При антигенактивированной продукции люцигенинзависимых радикалов выявлено достоверное (P<0,001) ускорение формирования первого пика первичных радикалов в пробах «in vitro». Статистически не различимо время формирования второго пика ХЛ при воздействии ионизирующего излучения «in vivo» и «in vitro», в среднем он регистрировался на 141,83±6,6 мин, отражало сходство процесса активированного образования первичных радикалов. Более короткое время образования первых пиков генерации люцигенинзависимых супероксидных радикалов при воздействии ионизирующего излучения на кровь «in vitro» очевидно связано с

непосредственно с ионизационным процессом и с активацией ферментативного образования первичных АФК. При облучении «in vivo» воздействию меньших по мощности доз подвергается в целом весь многоклеточный, сложно организованный организм и система крови в его составе.

Установлено, что при облучении «in vitro» Tmax I спонтанной генерации вторичных люминолзависимых радикалов регистрировали ранее на 9,8 мин., чем в образцах «in vivo» (P<0,01), таблица 3.7.2. Однако Tmax I антигенактивированной генерации вторичных радикалов в образцах статистически не различалось и приходилось на 27,68±4,1 мин.

Таблица 3.7.2 – Время достижения пиков генерации вторичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Tmax I, мин.	Tmax II, мин.
спонтанная	«in vivo» (n=38)	28,30±3,15	144,97±3,90
	«in vitro» (n=28)	18,50±1,22**	153,33±10,87
активированная	«in vivo» (n=38)	27,68±3,49	130,35±4,08
	«in vitro» (n=28)	27,67±4,63	140,00±6,04

Примечание: **P < 0,01

Не выявлено достоверных различий между значениями Tmax II при спонтанной и активированной продукции вторичных радикалов в пробах «in vivo» и «in vitro». При спонтанной генерации вторичных радикалов Tmax II приходился на 149,15±7,4 мин., при активированной продукции – на 135,18±5,1 мин. Это свидетельствует об тождественном течении процесса образования вторичных радикалов в периферической крови

Максимальная интенсивность ХЛ (Imax I, Imax II, имп./с). Установлено, что облучение «in vitro» образцов крови снижало амплитуду Imax I и Imax II спонтанной генерации первичных радикалов (P<0,001). При активации ХЛ-

реакции частицами латекса амплитуда Imax I и Imax II в пробах «in vitro», снижалась, что может быть связано с высокой активностью комплекса антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы и общего глутатиона), сохраняющихся до 2-х суток после облучения [243] в условиях острого воздействия ионизирующего излучения «in vitro» (табл.3.7.3).

Таблица 3.7.3 – Максимальная интенсивность продукции первичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
спонтанная	in vivo (n=38)	1223,68±209,06	1006,79±114,07
	in vitro (n=28)	218,50±36,33***	127,33±44,68***
активированная	in vivo (n=38)	1150,58±232,06	751,71±63,55
	in vitro (n=28)	375,00±98,09**	441,67±47,22***

Примечание: **P < 0,01;***P < 0,01

При генерации вторичных радикалов (таблица 3.7.4) значение амплитуды Imax I и Imax II спонтанной ХЛ реакции в пробах «in vitro» снижалось в сравнении с данными, полученными при воздействии ионизирующего излучения «in vivo» (P < 0,01).

Таблица 3.7.4 – Максимальная интенсивность продукции вторичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
спонтанная	in vivo (n=38)	1223,68±209,06	1006,79±114,07
	in vitro (n=28)	363,50±19,19***	478,33±78,88***
активированная	in vivo (n=38)	1150,58±232,06	751,71±63,55
	in vitro (n=28)	932,33±99,57	1403,67±30,32***

Примечание: ***P < 0,01

Высота первых пиков генерации антигенактивированной хемилюминесценции статистически в обоих группах не отличалась и в среднем составляла 1041,46±165,8. Значение Imax II в группе «in vitro» уменьшалось по сравнению с группой «in vivo» (P < 0,001).

При введении частиц латекса в пробы «in vivo» высота пиков генерации первичных радикалов снижается, тогда как в пробах «in vitro» наблюдается обратный процесс – максимальная интенсивность увеличивается, что является нормальной ХЛ-реакцией.

Динамика процесса генерации активированных вторичных радикалов идентична образованию стимулированных первичных АФК. При введении частиц латекса в пробы «in vivo» высота пиков генерации вторичных радикалов снижается, тогда как в пробах «in vitro» наблюдается обратный процесс – максимальная интенсивность увеличивается. Увеличение АФК при введении антигена считается нормальной реакцией клеток крови. Антиоксидантная система контроля в крови животных, пролонгировано облучающихся в малых дозах, менее активна, что проявляется в сдерживании активности формирования максимумов ХЛ-реакции, то есть радикалообразования в периферической крови.

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). В пробах «in vitro» образовывалось достоверно меньше спонтанных и антигенактивированных первичных радикалов, чем в пробах «in vivo» (P < 0,001). Острое внешнее воздействие радиации в малых дозах приводит снижению функциональной активности клеток крови (табл.3.7.5).

При активации фагоцитарной деятельности клеток периферической крови введением частиц латекса суммарная генерация первичных АФК в пробах «in vitro» возрастала, что являлось нормальной реакцией клеток крови на антигенное воздействие. Тогда как в пробах «in vivo» количество люцигенинзависимых АФК снижалось при введении частиц латекса в пробу, что свидетельствует о снижении реактивности клеток крови.

Таблица 3.7.5 – Светосумма первичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Светосумма
спонтанная	«in vivo» (n=38)	8,28±0,89
	«in vitro» (n=28)	1,81±0,50***
активированная	«in vivo» (n=38)	6,06±0,61
	«in vitro» (n=28)	3,30±0,30***

Примечание: ***P < 0,01

В пробах «in vitro» и «in vivo» спонтанно генерируется статистически одинаковое суммарное количество вторичных радикалов (табл. 3.7.6). Суммарное количество антигенактивированных люминолзависимых АФК в группе «in vitro» превышало таковое значение по группе «in vivo» (P<0,01). Введение частиц латекса в пробы крови не изменяло количество вторичных АФК в группе «in vivo» и увеличивало люминолзависимых АФК в группе «in vitro».

Таблица 3.7.6 – Светосумма вторичных АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Светосумма
спонтанная	in vivo (n=38)	5,80±0,65
	in vitro (n=28)	3,59±0,88
активированная	in vivo (n=38)	6,64±0,84
	in vitro (n=28)	10,11±0,60**

Индекс активации (ИА, усл.ед.). По полученным данным рассчитан индекс активации, который отражает способность клеток крови (нейтрофилов, моноцитов) к увеличению генерации АФК в ответ на антигенную стимуляцию

(таб.3.7.7). Индекс активации при продукции первичных АФК в пробах крови при облучении «in vivo» и «in vitro» принадлежит одному диапазону изменчивости и статистически не различается. Аналогичная идентичность значений ИА установлена для процесса генерации вторичных АФК. В результате установлена тождественность процессов генерации первичных и вторичных радикалов в группах «in vitro» и «in vivo».

Таблица 3.7.7 –Индекс активации кинетики АФК клетками крови в условиях «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

Вид АФК	Вид воздействия	Индекс активации, усл. ед
Люцигенинзависимые	«in vivo» (n=38)	0,73±0,09
	«in vitro» (n=28)	3,79±1,90
Люминолзависимые	«in vivo» (n=38)	1,14±0,35
	«in vitro» (n=28)	2,92±1,19

Оценка взаимосвязи кинетики генерации АФК в группах «in vivo» и «in vitro» проведена по средним значениям генерации АФК за 180 мин. Определена степень корреляции кинетики спонтанного и активированного образования первичных и вторичных АФК (по 180 точек в каждой) (таблица 3.7.8). В группах «in vivo» и «in vitro» выявлена высокая корреляционная связь между активированной продукцией первичных (r_{xy}=0,84) и вторичных (r_{xy}=0,77) радикалов, при воздействии малых доз ионизирующего излучения клетки крови в случае антигенного раздражения (введение частиц латекса в пробы крови) имеют идентичную кинетику генерации АФК. Установлена умеренная корреляционная взаимосвязь между кинетикой спонтанной генерации первичных АФК (r_{xy}=0,44) и заметная взаимосвязь процесса продукции вторичных радикалов (r_{xy}=0,59). Критическое значение рангового коэффициента корреляции для 180 данных при доверительной вероятности 0,95 составляет 0,21. Полученное эмпирическое значение рангового

коэффициента корреляции при спонтанной продукции первичных и вторичных радикалов превышает критическую величину, что свидетельствует о статистически значимой корреляционной связи между значениями кинетики продукции АФК при облучении проб крови «in vitro» в дозе 1,33 мГр и генерации активных форм кислорода в организме крупного рогатого скота, имеющего поглощенную дозу 1,33 мГр/год (группа «in vivo»).

Таблица 3.7.8 – Коэффициент корреляции Спирмена (r_{xy}) значений кинетики генерации АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

			«in vivo»			
			люцигенин		люминол	
			актив.	спонт.	актив.	спонт.
«in vitro»	люцигенин	актив.	0,843			
		спонт.		0,442		
	люминол	актив.			0,766	
		спонт.				0,586

Между суммарной продукцией активированных первичных АФК в группах «in vivo» и «in vitro» (табл.3.7.9) на основании расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена выявлена прямая высокая корреляционная взаимосвязь (r_{xy}=0,87). Кроме того, в этой группе сравниваемых величин установлена тесная функциональная связь по шкале Чеддока.

Между суммарной спонтанной генерацией первичных АФК в группах «in vivo» и «in vitro» в соответствии с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена выявлена прямая умеренная корреляционная взаимосвязь (r_{xy}=0,50). Критическое значение рангового коэффициента корреляции для 23 значений при доверительной вероятности 0,95 составляет – 0,42, полученное эмпирическое значение рангового коэффициента корреляции

при спонтанной продукции первичных АФК (0,50) превышает критическую величину, что свидетельствует о статистически значимой корреляционной связи между значениями. В этой анализируемой группе установлена умеренная функциональная связь по шкале Чеддока.

Таблица 3.7.9 – 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»			
			люцигенин		люминол	
			актив.	спонт.	актив.	спонт.
«in vitro»	люцигенин	актив.	0,87			
		спонт.		0,50		
	люминол	актив.			0,50	
		спонт.				0,50

На основании расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена выявлена прямая умеренная корреляционная взаимосвязь между кинетикой спонтанной и активированной генерации вторичных АФК (r_{xy}=0,50) в группах «in vivo» и «in vitro» (табл.3.7.9). Эмпирическое значение рангового коэффициента корреляции превосходит критическую величину рангового коэффициента корреляции для 23 значений, которая при доверительной вероятности 0,95 составляет 0,42, это свидетельствует о статистически значимой корреляционной связи между значениями кинетики спонтанной и активированной продукции вторичных АФК при облучении проб крови «in vitro» в дозе 1,33 мГр и генерации активных форм кислорода в организме крупного рогатого скота, имеющего поглощенную дозу 1,33 мГр/год.

В группах «in vivo» и «in vitro между суммарным количеством активированных вторичных АФК установлена умеренная функциональная связь по шкале Чеддока.

В результате работы констатировано, что кинетика продукции люцигенин- и люминолзависимых АФК в пробах венозной крови крупного рогатого скота при поглощенной дозе 1,33 мГр/год и облучении проб «in vitro» 1,33 мГр имеет близкое сходство. В периферической крови развивается одинаковый эффект изменения образования свободных радикалов кислорода. Идентичное течение процесса генерации вторичных люминолзависимых АФК и антигенактивированной генерации первичных люцигенинзависимых, аналогичное их количество, дает возможность выполнять экстраполирование значений суммарной продукции АФК при облучении крови «in vitro» в низких поглощенных дозах на кинетику образования АФК в крови животных при облучении в диапазоне малых доз. Существование корреляционной связи между продукцией активных форм кислорода в периферической крови при облучении «in vivo» в дозе 1,33 мГр/год и облучением «in vitro» в дозе 1,33 мГр позволяет использовать облучение проб периферической крови «in vitro» как модель естественных процессов.

3.7.2 Тождественное равенство и корреляционная зависимость ХЛ-показателей при дозе 1,55 мГр/год

В результате проведенного хемилюминесцентного анализа установлено следующее.

Время достижения максимума ХЛ (Tmax I, Tmax II, мин.). Значения времени достижения первого и второго максимума генерации первичных АФК клетками венозной крови у коров при поглощенной дозе 1,55 мГр/год (группа «in vivo») и при облучении «in vitro» в дозе 1,5 мГр достоверно не отличались (табл.3.7.10).

Таблица 3.7.10 – Время (Tmax I, Tmax II) достижения пиков генерации АФК «in vivo» при дозе 1,55 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,55 мГр

ХЛ-реакция	Вид воздействия	Количество проб	Tmax I, мин.	Tmax II, мин.
Первичные радикалы				
спонтанная	«in vivo»	31	33,87±5,15	152,87±4,03
	«in vitro»	13	24,07±3,51	132,00±13,94
активированная	«in vivo»	23	30,26±4,62	147,91±4,53
	«in vitro»	13	18,93±0,76*	130,73±6,61
Вторичные радикалы				
спонтанная	«in vivo»	23	28,81±3,90	143,43±2,99
	«in vitro»	13	18,33±1,85*	136,60±5,20
активированная	«in vivo»	23	33,04±5,24	129,87±3,52
	«in vitro»	13	18,08±0,56**	116,07±4,35

Примечание: *P < 0,05, **P < 0,01

Первый максимум спонтанной продукции люцигенинзависимых радикалов в среднем регистрировался на 28,97±4,2 мин, второй – на 142,44±8,9 мин. При антигенактивированной продукции первичных АФК установлено ускорение времени формирования первого пика в пробах «in vitro» на 11,3 мин по сравнению с данными по группе «in vivo». Время достижения Tmax II антигенактивированной ХЛ-реакции в группах не отличалось и регистрировалось в среднем на 139,3±5,6 мин.

В группе «in vitro» при спонтанной генерации вторичных АФК установлено ускорение формирования первого пика ХЛ-реакции на 10,48 мин. Время достижения второго максимума спонтанной генерации люцигенинзависимых радикалов в группах «in vitro» и «in vivo» не отличалось и приходилось на 140±4,09 мин. Установлено, что при активации клеток крови частицами латекса в группе «in vitro» значение Tmax I снижалось на 14,96±2,9

мин. по сравнению с данными по группе «in vivo». Значение Tmax II, мин во всех пробах статистически не отличалось и приходилось на 122,97±3,9 мин. Полученные результаты свидетельствует о схожести течения процесса образования первичных и вторичных радикалов в периферической крови крупного рогатого скота, находящегося под воздействием поглощенной дозы 1,55 мГр/год и остром облучении «in vitro» в дозе 1,55мГр проб венозной крови коров.

Максимальная интенсивность ХЛ (Imax I, Imax II, имп./с). В группах «in vitro» и «in vivo» не установлено различий в значениях Imax I в при спонтанной продукции первичных радикалов (табл. 3.7.11), во всех пробах Imax I в среднем составляла 978,29±159,41 имп./с.

Таблица 3.7.11 – Максимальная интенсивность продукции первичных, вторичных АФК «in vivo» при дозе 1,55 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,55 мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Кол-во проб	Imax I, имп./с	Imax II, имп./с
Первичные радикалы				
спонтанная	«in vivo»	23	962,52±146,82	1380,96±143,27
	«in vitro»	13	994,07±169,99	771,47±135,00**
активированная	«in vivo»	23	880,91±98,71	1113,09 ±128,49
	«in vitro»	13	1113,64±182,75	1005,13±188,61
Вторичные радикалы				
спонтанная	«in vivo»	23	552,09±88,71	676,76±75,29
	«in vitro»	13	1417,08±24,00***	487,71±127,02
активированная	«in vivo»	23	1437,77±190,00	1400,17±151,46
	«in vitro»	13	1807,21±228,69	1290,69±314,47

Примечание: **P < 0,01;***P < 0,01

В группе «in vitro» установлено снижение максимальной интенсивности второго пика спонтанной генерации первичных АФК на 690,49 имп./с. При антигенактивированной продукции первичных радикалов не установлено различий значений Imax I и Imax II в группах «in vitro» и «in vivo».

В группе «in vitro» при спонтанной продукции вторичных радикалов установлено увеличение значения Imax I на 864,99 (табл.3.7.11), показатель Imax II во всех пробах статистически не отличался и в среднем составлял 582,24±101,16 имп./с. При антигенактивированной продукции вторичных радикалов не установлено различий в значениях Imax I и Imax II в группах «in vitro» и «in vivo».

Суммарная генерация АФК (S, млн. имп. за 180 мин.). При остром облучении проб крови в дозе 1,55 мГр (группа «in vitro») спонтанных первичных радикалов генерировалось меньше на 2,2 мнл.имп./180 мин., чем в пробах группы «in vivo» (табл. 3.7.12).

Таблица 3.7.12 – Светосумма первичных, вторичных АФК «in vivo» при дозе 1,55 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,55мГр

ХЛ реакция	Вид воздействия	Кол-во проб	Светосумма, мнл.имп/180 мин.
Первичные радикалы			
спонтанная	in vivo	23	8,56±0,69
	in vitro	13	6,36±0,82*
активированная	in vivo	23	7,01±0,51
	in vitro	13	8,92±1,43
Вторичные радикалы			
спонтанная	in vivo	23	4,29±0,35
	in vitro	13	4,44±1,07
активированная	in vivo	23	11,61±0,94
	in vitro	13	13,90±2,77

Примечание: *P < 0,05

Количество первичных радикалов, образованных при активации клеток крови частицами латекса в пробах «in vitro» и «in vivo», не отличалось и в среднем составляло 7,97±0,97 мнл.имп/180 мин.

Суммарное количество вторичных радикалов, образующихся спонтанно и при активации частицами латекса в крови крупного рогатого скота, при дозах 1,55 мГр «in vivo» и «in vitro» достоверно не отличалось.

В крови крупного рогатого скота, находящегося под воздействием поглощенной дозы 1,55 мГр/год и при остром облучении проб крови коров «in vitro» в дозе 1,55мГр образуется одинаковое количество первичных активированных АФК и вторичных как спонтанных, так и активированных радикалов.

Индекс активации (ИА, усл.ед.). На основании полученных данных рассчитан индекс активации хемилюминесценции, который отражает возможность клеток крови образовать АФК в ответ на антигенное раздражение (табл. 3.7.13).

В группе «in vitro» индекс активации генерации первичных (люцигенинзависимых) АФК выше на 0,94±0,19 усл. ед, чем в пробах по группе «in vivo». Индекс активации вторичных (люминолзависимых) АФК в пробах крови в группах «in vivo» и «in vitro» находился в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличался.

В результате работы выявлено, что время формирования пиков генерации первичных и вторичных АФК (при спонтанной и активированной хемилюминисценции) клетками венозной крови при облучении «in vivo» в дозе 1,55 мГр/год и при облучении «in vitro» в дозе 1,5 мГр идентично. Тождественны значения амплитуды максимумов ХЛ-реакции при антигенном образовании первичных и вторичных АФК в группах «in vitro» и «in vivo».

Таблица 3.7.13 –Индекс активации кинетики АФК «in vivo» при дозе 1,55 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,55мГр

Вид АФК	Вид воздействия	Количество проб	ИА, усл. ед
Первичные радикалы	«in vivo»	23	0,82±0,11
	«in vitro»	13	1,76±0,26**
Вторичные радикалы	«in vivo»	23	2,70±0,25
	«in vitro»	13	3,68±0,53

Примечание: *P < 0,05

В венозной крови коров, находящихся при воздействии поглощенных доз 1,55 мГр/год и при остром облучении проб периферической крови «in vitro» в дозе 1,55 мГр, образуется одинаковое количество вторичных радикалов и антигенактивированных первичных АФК, равнозначен индекс активации генерации вторичных АФК.

Определение корреляционной взаимосвязи кинетики генерации АФК в группах «in vivo» и «in vitro» проведено по средним значениям генерации АФК за 180 мин. Определена степень корреляции кинетики спонтанного и активированного образования первичных и вторичных АФК (по 180 точек в каждой) (таблица 3.7.14) в группах «in vivo» и «in vitro».

В группах «in vivo» и «in vitro» между кинетикой генерации первичных АФК на основании расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена установлена высокая корреляционная связь между активированной (r_{xy}=0,94) и спонтанной (r_{xy}=0,86) продукцией первичных радикалов. В группах «in vivo» и «in vitro» между кинетикой генерации первичных АФК при спонтанной ХЛ-реакции выявлена «тесная» взаимосвязь, а при активированной продукции «очень тесная» функциональная связь по шкале Чеддока.

Между кинетикой продукции вторичных радикалов в группах «in vitro» и «in vivo» в результате, расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена установлена высокая корреляционная взаимосвязь между

кинетикой спонтанной (r_{xy}=0,77) и активированной (r_{xy}=0,77). Между кинетикой продукции вторичных радикалов выявлена тесная функциональная связь по шкале Чеддока.

Таблица 3.7.14 – Коэффициент корреляции Спирмена (r_{xy}) значений кинетики генерации АФК «in vivo» при дозе 1,33 мГр/год и облучении «in vitro» в дозе 1,33 мГр

			«in vivo»			
			люцигенин		люминол	
			актив.	спонт.	актив.	спонт.
«in vitro»	люцигенин	актив.	0,935			
		спонт.		0,857		
	люминол	актив.			0,767	
		спонт.				0,772

Полученные результаты свидетельствуют о наличии корреляционной связи между значениями кинетики продукции АФК при облучении проб крови «in vitro» в дозе 1,55 мГр и генерации активных форм кислорода в организме крупного рогатого скота, имеющего поглощенную дозу 1,55 мГр/год (группа «in vivo»). При воздействии малых доз ионизирующего излучения «in vivo» и «in vitro» клетки крови имеют идентичную кинетику генерации первичных и вторичных АФК.

Между суммарным количеством первичных АФК, образованных в группах «in vivo» и «in vitro» (табл.3.7.15), на основании расчета коэффициента корреляции Спирмена выявлена «заметная» корреляционная прямая взаимосвязь между кинетикой спонтанной (r_{xy}=0,60) и активированной (r_{xy}=0,62). Критическое значение рангового коэффициента корреляции для 13 значений при доверительной вероятности 0,95 составляет 0,56, эмпирические значения рангового коэффициента корреляции, описывающие продукцию

первичных радикалов, превосходит критическую величину, что указывает на наличие статистически значимой корреляционной связи между значениями. Между анализируемыми величинами в группах «in vivo» и «in vitro» установлена «заметная» функциональная связь по шкале Чеддока.

Таблица 3.7.15 – 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			
			люцигенин		люминол	
			актив	спонт	актив	спонт
in vitro	люцигенин	актив	0,62			
		спонт		0,60		
	люминол	актив			0,83	
		спонт				0,90

В группах «in vivo» и «in vitro» между суммарным количеством вторичных спонтанно образованных радикалов, основываясь на расчете коэффициента ранговой корреляции Спирмена, в группах «in vivo» и «in vitro» между суммарным количеством спонтанных вторичных АФК выявлена прямая «весьма высокая» корреляционная взаимосвязь (r_{xy}=0,90). Коэффициент Спирмена для суммарной величины антигенактивированных вторичных радикалов составил – 0,83, что демонстрирует «высокую» прямую корреляционную связь между значениями. По шкале Чеддока в группах «in vivo» и «in vitro» между суммарным количеством вторичных спонтанных АФК выявлена «тесная», а между активированными АФК «очень тесная» функциональная связь.

Таким образом, кинетика продукции люцигенин- и люминолзависимых АФК в пробах венозной крови крупного рогатого скота при поглощенной дозе

1,55 мГр/год и облучении проб «in vitro» 1,55 мГр идентична. В периферической крови развивается одинаковый эффект изменения образования свободных радикалов кислорода. Идентичное течение процесса генерации вторичных люминолзависимых АФК и антигенактивированной генерации первичных люцигенинзависимых, аналогичное их количество дает возможность выполнять экстраполирование значений суммарной продукции АФК при облучении крови «in vitro» в низких поглощенных дозах на кинетику образования АФК в крови животных при облучении в диапазоне малых доз. Существование корреляционной связи между продукцией активных форм кислорода в периферической крови при облучении «in vivo» в дозе 1,55 мГр/год и облучением «in vitro» в дозе 155 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 имеющую однозначную динамику в условиях воздействия ионизирующего излучения в субклинических дозах на крупный рогатый скот и при облучении крови «in vitro» показатели крови: гематологические, биохимические, иммунобиологические хемилюминесцентные (таблица 3.8.1).

Таблица 3.8.1 – Перечень показателей для расчета ИПРОА

Объекты	Статистические показатели
Атмосфера	Гамма-фон, мкР/ч
Объекты агробиоценозов	Удельная активность ^{137}Cs в почвах, Бк/кг
	Удельная активность ^{137}Cs в кормах, Бк/кг
Сельскохозяйственные животные	Количество юных нейтрофилов, %
	Количество палочкоядерных нейтрофилов, %

	Количество сегментоядерных нейтрофилов, %
	Фагоцитарная активность, %
	Суммарная продукция первичных спонтанных АФК, млн./180мин

Для расчета ИПРОА по каждому статистическому показателю были взяты максимальные, минимальные и средние значения, сводные значения показателей ИПРОА приведены в таблице 3.8.2.

Таблица 3.8.2 – Значения показателей ИПОА 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
Мощность амбиентного эквивалента (МАЭД) дозы внешнего гамма-излучения, нЗв/ч	10,4 (8-14)	18,89 (10-35)	17,1 (10-34)
Удельная активность ^{137}Cs в почвах Бк/кг	6,43 (3,4-12,5)	284,17 (14,1-789,0)	120,81 (5,0-365)
Удельная активность ^{137}Cs в кормах	1,08 (0,53-2,60)	6,81 (1,22-14,17)	2,94 (1,11-7,98)
Количество юных нейтрофилов, %	1,07 (0-2)	3,99 (0-7)	2,57 (0-6)
Количество палочкоядерных нейтрофилов, %	3,66 (2-6)	6,09 (1-12)	6,05 (1-17)
Количество 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, (раздел 2.2.5) для каждого показателя ИПРОА из имеющегося диапазона значений выделялись минимальное ($\bar{X}i\ min$) и максимальное ($\bar{X}i\ max$) значения. Для агробиоценозов определяли среднее значение по показателю ($\bar{X}ij$), с последующим расчетом величины нормированного критерия по каждому показателю (ИПРОА $\bar{X}ij$), результаты расчета представлены в таблице 3.8.3.

Рассчитанное значение ИПРОА для агробиоценозов агарных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 мГр/год превышали в 1,75 и 1,38 раз показатель ИПРОА для агробиоценозов аграрного ландшафта с поглощенной дозой 0,92 мГр/год. По итогам расчета ИПРОА можно заключить, что выбор показателей для расчета ИПРОА был верен.

Результаты интегрального показателя радиационной опасности агробиоценозов позволяют рекомендовать использовать показатели: МАЭД внешнего гамма-излучения, удельная активную ^{137}Cs в почвах и кормах, содержание форм нейтрофилов, фагоцитарную активность клеток крови и суммарную продукцию первичных спонтанных АФК для расчета ИПРОА в аграрных ландшафтах РФ для определения степени радиоактивного техногенного загрязнения.

Таблица 3.8.3 – Расчет показателя ИПОА для агробиоценозов с различной поглощенной дозой

Показатели	$\bar{X}\ min$	$\bar{X}\ max$	0,92 мГр/год			1,33мГр/год			1,55 мГр/год		
			$\bar{X}ij$	$\bar{X}ij - \bar{X}min$	ИПРОА $\bar{X}ij$	$\bar{X}ij$	$\bar{X}ij - \bar{X}min$	ИПРОА $\bar{X}ij$	$\bar{X}ij$	$\bar{X}ij - \bar{X}min$	ИПРОА $\bar{X}ij$
МАЭД внешнего гамма-излучения, нЗв/ч	8	35	10,4	2,4	0,08	18,89	10,89	0,40	17,1	9,1	0,33
Удельная активность ^{137}Cs в почвах Бк/кг	3,4	789	6,64	3,24	0,004	284,17	280,77	0,36	120,81	117,41	0,15
Удельная активность ^{137}Cs в кормах	0,53	14,17	1,08	0,55	0,04	6,81	6,28	0,46	2,94	2,41	0,18
Количество юных нейтрофилов, %	0	7	1,07	-0,93	0,13	3,99	3,99	0,57	2,57	2,57	0,37
Количество палочкоядерных нейтрофилов, %	2	17	3,66	1,66	0,11	6,09	4,09	0,27	6,05	4,05	0,27
Количество сегментоядерных нейтрофилов, %	1	33	24,34	23,34	0,73	13,65	12,65	0,40	14,14	13,14	0,41
Фагоцитарная активность, %	6,13	52,4	29,87	23,74	0,51	25,09	18,96	0,41	25	18,87	0,41
Суммарная продукция первичных спонтанных АФК, млн./180мин	0,11	16,4	5,65	5,54	0,34	8,28	8,17	0,50	8,56	8,45	0,52
ИРПРОА					**0,24**			**0,42**			**0,33**

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Увеличение радиационного фона аграрных ландшафтов является значимой радиобиологической проблемой. На территориях с дополнительным радиоактивным загрязнением аграрные ландшафты испытывают радиационное воздействие в малых дозах. Техногенные радионуклиды в компонентах аграрных ландшафтов вносят дополнительный вклад в поглощенную дозу облучения, тем самым воздействуют на организм сельскохозяйственных животных.

В центральных районах Красноярского края выявлено точечное загрязнение поймы р. Енисей антропогенными радионуклидами, сформированное в результате деятельности ФГУП «Горно-химический комбинат» Григорьев А.И. (2012) [62]. Имеется значительное количество публикаций, посвященных оценке локальных загрязнений, в них определена удельная активность техногенных радионуклидов, их миграционная способность в водной биоте р. Енисей. Ф.В. Сухоруков (2004) определил закономерности распределения и миграции антропогенных радионуклидов (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{60}Co, ^{52}Eu, ^{240}Pu) в компонентах экосистемы р. Енисей. [193]. Т.А. Зотиной (2022) приведены данные по удельной активности ^{137}Cs в рыбе р. Енисей [83]. В работе А.М. Мартыновой (1997) обозначены значения удельной активности техногенных радионуклидов (^{60}Co, ^{137}Cs и ^{152}Eu) в 30 см слое донных отложений р. Енисей на участке от ФГУП «Горно-химический комбинат» до поселка Стрелка [127]. А.А. Бурякова (2020) с соавторами в публикации по оценке экологического риска для биоты р. Енисей в зоне наблюдения Горно-химического комбината приводит данные о загрязнении поймы техногенными радионуклидами в период с 2000 по 2019 гг. [30]. В.Н. Ракитский с соавторами (2018) определил значения удельной активности техногенных радионуклидов в воде и донных отложениях на правом берегу р. Енисей, на удалении 5 км вниз по течению от ФГУП «Горно-химический

комбинат», по данным авторов удельная активность ^{137}Cs в воде составляла 0,12±0,06 Бк/кг, в донных отложениях – 1311±67 Бк/кг[173]. Все вышеприведенные публикации доказывают наличие дополнительного радиоактивного загрязнения поймы р. Енисей в результате предыдущей деятельности ФГУП «Горно-химический комбинат».

Нами было оценено эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения в аграрных ландшафтах Красноярского края. Определение удельной активности техногенных радионуклидов в почвах является начальным этапом эколого-радиобиологического обследования аграрных ландшафтов.

Анализ научных работ, посвященных оценке миграционной активности ^{137}Cs, выполненных как российскими, так и зарубежными учеными, показывает, что концентрация ^{137}Cs в почвах зависит от ее типа, содержания гумуса, обменного и остаточного калия, степени увлажненности почвы, видового состава растений [176]. В настоящее время радиоэкологами изучено распределение ^{137}Cs по профилю почв, скорость вертикальной миграции в различных типах почв отличается, подвижность ^{137}Cs прямо пропорциональна концентрации органического вещества. С. Элькен и Ж. Киршнер (2002) оценили влияние конкуренции ионов Ca, K и Mg в системе почва-растение, наличие почвенных микроорганизмов и действие ризосферных процессов на поглощение и транслокацию ^{90}Sr и ^{137}Cs растениями [240]. К. Калкан (2021) с соавторами выявила влияние атмосферных осадков и водного режима почв на распределение ^{137}Cs в почвах сельскохозяйственных угодий северной Сербии [252]. Нами в работе подтверждено, что концентрация обменного K определяет миграционную активность ^{137}Cs.

Начальным этапом радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов является рекогносцировочная оценка гамма-фона. В наших исследованиях значения гамма-фона в контрольном аграрном ландшафте составили 10,48 ± 0,06 нЗв/ч, что согласуются с данными полученными Т.И. Матвиенко (2006), который исследовал значения гамма-фона на юге

Хабаровского края и определил, что они составляют 9-13 мкР/ч [128]. Таким образом значения гамма-фона до 14 мР/ч характеризуют глобальный техногенный фон, уровень которого имеет однозначное числовое выражение на всей территории РФ. В тоже время нами установлено, что в опытных аграрных ландшафтах значения гамма-фона составили 17,1-18,89 нЗв/ч, что превышает значения фонового глобального техногенного загрязнения.

При радиоэкологическом обследовании почв агробиоценозов, загрязненных радионуклидами, особое внимание уделяется их вертикальному распределению по профилю почвы. По данным ученых 60-75% ^{137}Cs в почвах агробиоценозов юго-западных районов Брянской области, в 30-км зоне Смоленской АЭС, Московской области, Ростовской области, Западной Сибири, юге Хабаровского края и Семипалатинского полигона находится в верхних слоях почвы на глубине 10-20 см, [128, 133, 144, 149, 190, 213]. В наших исследованиях вертикальной миграции ^{137}Cs по профилю почвы в контрольном аграрном ландшафте установлено, что на глубине до 20 см сосредоточено 54% ^{137}Cs, остальные 46% равномерно распределены на глубине 20-40 см. Полученные результаты доказывают присутствие в контрольном аграрном ландшафте только глобального техногенного загрязнения.

По данным ряда исследователей глубина миграции ^{137}Cs по профилю почвы в Брянской области составляет 65 см [190], Белгородской области – 40 см [123], очевидно это связано с уровнем загрязнения почв в результате аварии на ЧАЭС. В наших исследованиях установлено, что в зоне наблюдения ФГУП «Горно-химического комбината» глубина миграции ^{137}Cs в почвах агробиоценозов с дополнительной техногенной нагрузкой составляет 40 см, что подтверждает предположение о загрязнении некоторых территорий в результате предыдущей деятельности предприятия.

Удельная активность ^{137}Cs является основным показателем радиационной безопасности почв аграрных ландшафтов и определяет возможность сельскохозяйственного использования земель. На большей

территории РФ удельная активность ^{137}Cs в почвах определяется уровнем глобального техногенного загрязнения: в Тамбовской области – 25,6-43,3 Бк/кг [219], Оренбургской области – 0,3-7,03 Бк/кг [143, 182], в Ханты-Мансийском автономном округе – 0,7-12,3 Бк/кг [186], Западной Сибири – более 3 Бк/кг [133]. Полученные нами данные по контрольному аграрному ландшафту (6,43±1,92) входят в диапазон значений удельной активности ^{137}Cs в почвах, характеризующий глобальный техногенный фон. Удельная активность ^{137}Cs в почвах опытных аграрных ландшафтах составляет 120-284 Бк/кг, что значительно превышает средние значения по РФ. Это доказывает наличие дополнительного техногенного загрязнения отдельных территорий в Красноярском крае.

Радиационную безопасность почв можно оценить по площадной активности. По данным А.Д. Булохова (2014) плотность загрязнения почвы ^{137}Cs некоторых агробиоценозов Брянской области более 74 кБк/м^2 (2 Ku/км^2) [40]. В нашей работе установлено, что на территории Красноярского края имеются агробиоценозы с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 0,78 Ku/км^2 до 1,84 Ku/км^2. Согласно нормативному документу «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия», экологическую обстановку в таких агробиоценозах относят к «относительно удовлетворительной».

Следующим важным этапом радиоэкологического обследования аграрных ландшафтов является определение миграционной активности техногенных радионуклидов в звене «почва-корма», где миграционная активность традиционно оценивается коэффициентом накопления (Кн) – концентрационного отношения между удельной активностью в кормах и почве. Значения Кн на разных территориях оценены многими исследователями. Лукиным С.В. и Хижняком Р.М. (2012) установлены коэффициенты накопления ^{137}Cs для почв Белгородской области – 0,02-1,1 [123], Шур А.В. и Валько В.П. установили Кн^{137}Cs в почвах республики

Беларусь – 0,12-4,7 [222]. В наших исследованиях были получены Кн ^{137}Cs в цепи миграции «почва – корма – продукция животноводства» для агробиоценозов Красноярского края. Значение Кн ^{137}Cs в звене «почва-сено разнотравное» в опытных аграрных ландшафтах составил 0,02, что совпадает с диапазоном, приведенным в научной литературе, но впервые Кн получил численное выражение, характерное для изучаемой территории. При изменении радиоэкологической ситуации в Красноярском крае коэффициенты накопления могут быть использованы для оценки перехода ^{137}Cs между звеньями миграции.

Оценка удельной активности кормов является неотъемлемым этапом мониторинга радиационной безопасности аграрных ландшафтов. Удельная активность ^{137}Cs в кормах, производимых на территории РФ не однозначная, однако не превышает установленный контрольный уровень за исключением Брянской области. По данным А.Д. Булохова (2014) на территории Брянской области имеются агробиоценозы, в которых удельная активность ^{137}Cs сена превышает контрольные уровни (600 Бк/кг) [40]. Удельная активность ^{137}Cs на территории Северо-Западного Алтая в зеленой массе лугов составляла 4-2 Бк/кг [76], в республике Татарстан в соломе – 0,66 Бк/кг, свекле кормовой – 0,25 Бк/кг [4]. Полученные нами данные (2,94-6,81 Бк/кг) по удельной активности ^{137}Cs в кормах контрольного аграрного ландшафта соответствовали диапазону данных, полученных на территориях свободных от дополнительного техногенного загрязнения. Удельная активность ^{137}Cs в кормах аграрных ландшафтов Красноярского края с дополнительной техногенной нагрузкой превосходила средние значения по аграрным ландшафтам РФ, однако не превышала значений контрольных уровней. На основании вышеприведенных данных можно заключить, что на территории Красноярского края производятся радиационно-безопасные корма.

Удельная активность техногенных радионуклидов в продукции животноводства может существенно увеличить эквивалентную дозу ионизирующего облучения населения. Важным этапом радиоэкологического

обследования аграрных ландшафтов, имеющих дополнительное техногенное радиоактивное загрязнение, является определение миграционной активности техногенных радионуклидов в продукцию животноводства. Миграция в продукцию животноводства оценивается коэффициентом перехода (Кп). В литературных данных значения Кп ^{137}Cs разительно отличаются. По данным одних источников Кп^{137}Cs в молоко коровье составляет 1 %, в мышечную ткань – 8 % от суточного поступления, однако существуют научные результаты, в которых значения Кп^{137}Cs из рациона в молоко – 0,4% [148], по результатам ученых республики Беларусь Кп ^{137}Cs в продукцию составляет 1% [93]. Нами установлено, что значение Кп ^{137}Cs в молоко коровье в агробиоценозах Красноярского края с установленным техногенным загрязнением составлял 0,2-0,5%, что соответствует диапазону значений характерных для аграрных ландшафтов РФ.

Удельная активность техногенных радионуклидов в продукции животноводства относится к основным показателям радиационной безопасности аграрных ландшафтов и в обязательном порядке определяется при радиоэкологическом обследовании агробиоценозов. Она является показателем, ежегодно оцениваемым Росельхознадзором при мониторинге радиационной безопасности животноводческой продукции во всех субъектах РФ. Имеются данные, что удельная активность ^{137}Cs в продукции животноводства на территориях с глобальным техногенным фоном во много раз ниже значений, установленных нормативными документами. В республике Татарстан удельное содержание ^{137}Cs в молоке коровьем – 0,12 Бк/кг, в говядине –2,58 Бк/кг [4]. В нашей работе установлено, что удельная активность ^{137}Cs в молоке коровьем в радиационно чистых ферменных биогеоценозах составила 0,16 Бк/кг, что полностью согласуется с данными, полученными в других районах РФ. На основании данных настоящей работы в Красноярском крае выявлено превышение удельной активности ^{137}Cs в молоке, производимом в аграрных ландшафтах с дополнительной техногенной нагрузкой (1,07-1,33 Бк/л), по сравнению со средними данными

РФ, но установленные значения много меньше гигиенического норматива [178]. На основании выше приведенных данных можно заключить, что в ферменных биогеоценозах аграрных ландшафтов Красноярского края производится радиационно-безопасная агропродукция.

Доза облучения – это величина энергии ионизирующего излучения, полученного единицей массы организма за время его пребывания в зоне облучения или местности, загрязненной радиоактивными веществами. Доза облучения сельскохозяйственных животных формируется за счет природных и техногенных источников ионизирующего излучения. Естественные источники радиации в условиях конкретной местности формируют естественный природный фон, который определяет дозу облучения. В Красноярском крае значение поглощенной дозы на открытой местности находится в диапазоне значений 0,5-0,9 мГр/год, в животноводческих помещениях – 0,4-0,9 мГр/год. Дополнительным вклад в поглощенную дозу вносят техногенные радионуклиды, удельная активность которых в компонентах аграрных ландшафтов неоднозначная, в связи с этим сельскохозяйственные животные имеют различную дозовую нагрузку.

Расчет дозовых нагрузок на сельскохозяйственных животных является одной из задач ветеринарных радиологических лабораторий, радиологических отделов ветеринарных лабораторий. Расчет величины поглощённой дозы для сельскохозяйственных животных в РФ регламентируется нормативным документом ВП 13.73.13/12-00 «Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами» [45]. Методика, представленная в Ветеринарных правилах 13.73.13/12-00, полностью применима к расчету уровней облучения сельскохозяйственных животных, находящихся на территории, подвергшейся воздействию радиоактивного заражения (облучения) вследствие ядерных взрывов, ядерных аварий и других процессов, связанных с неконтролируемым распространением техногенных

радионуклидов. Эта методика имеет сравнительный характер и не может быть полностью перенесена на условия существования сельскохозяйственных животных в Красноярском крае. Нами предложена методика расчета годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных Красноярского края [204]. Согласно этой методике дозу внешнего облучения сельскохозяйственных животных на территории края на открытой местности необходимо рассчитывать от долгоживущих радионуклидов с учетом радиоэкологической обстановки. В результате расчета величины поглощенной дозы в аграрных ландшафтах края, имеющих различный радиоэкологический статус, нами установлено, что в ферменных биогеоценозах с глобальным техногенным загрязнением продуктивные животные имеют величину поглощенной дозы 0,92 мГр/год. В аграрных ландшафтах с дополнительным техногенным загрязнением значения поглощенных доз для сельскохозяйственных животных – 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год. Полученные значения поглощенных доз полностью согласуются с данными, полученными сельскохозяйственными радиоэкологами в других регионах РФ (0,15-0,87 мГр/год) [118]. Полученные нами величины поглощенных доз много ниже значений, приводимых В.С. Авереным (2015) в работе по определению уровня поглощенных доз для сельскохозяйственных животных в Республике Беларусь (13,0-62,8 мГр/год) [2], это является позитивным фактором и свидетельствует о благоприятной радиоэкологической обстановке в РФ и, в частности, в Красноярском крае.

Для оценки эколого-радиобиологического влияния субклинических доз нами выполнены исследования гематологических, биохимических и хемилюминесцентных показателей крови сельскохозяйственных животных из ферменных биогеоценозов с дополнительным техногенным загрязнением. Установлено, что при субклинических дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год в крови крупного рогатого скота регистрировались умеренный эритроцитоз, лимфоцитоз, моноцитопения. Подобные изменения у крупного рогатого скота регистрировал Т.С. Плотко с соавторами (2017) в зоне радиоактивного

загрязнения в Киевском полесье [164]. Кроме того, при анализе гематологических показателей нами выявлено наличие достаточного количества незрелых форм нейтрофилов, что полностью согласуется с данными Е.А. Михеевой (2006), полученными при исследовании крупного рогатого скота из агробиоценозов Орловской области [134]. В наших исследованиях у сельскохозяйственных животных, испытывающих дополнительную дозовую нагрузку, установлено изменение клеточного состава нейтрофильных гранулоцитов, что характеризовалось появлением незрелых форм лейкоцитов и резким снижением уровня сегментоядерных гранулоцитов, это указывает на нарушение гемопоэза в красном костном мозге.

В настоящей работе установлено, что субклинические дозы ионизирующего излучения негативно влияли на функциональные способности фагоцитов крови, подавляя фагоцитарную активность лейкоцитов. Подобные результаты были получены у крупного рогатого скота из Киевского полесья, в периферической крови которого регистрировалось снижение фагоцитарного индекса нейтрофилов и их элиминирующей способности [164]. Уменьшение фагоцитарной активности лейкоцитов нами расценивалось как негативный фактор влияния субклинических доз на организм коров. Сокращение фагоцитарной активности лейкоцитов приводит к снижению уровня неспецифической резистентности организма сельскохозяйственных животных, имеющих дополнительную дозовую нагрузку.

У животных с дозовой нагрузкой в сыворотке крови увеличивался уровень щелочной фосфатазы, креатинина и альбуминов, снижалось содержание общего белка. Падение уровня общего белка при облучении регистрировалось у лабораторных крыс В.В. Петряковым (2017) [162]. Нами было установлено уменьшение количества гамма-глобулинов, разно векторные изменения АСТ и АЛТ, в то же время выявлено отсутствие влияния ионизирующего излучения на содержание альфа-, бета-глобулинов,

аналогичные биохимические данные получены А.И. Грицук с соавторами (2010) в работе на лабораторных животных [63].

Н.П. Асташевой (2017), при облучении телок черно-пестрой породы, получены волнообразные изменения концентрации общего белка, активности щелочной фосфатазы и альфа-амилазы в периферической крови [20]. Полученные нами результаты биохимических изменений в сыворотке крови крупного рогатого скота в ферменных биогеоценозах с дополнительной техногенной нагрузкой находятся в согласованности с данными Н.П. Асташевой Н.П. Увеличение уровня щелочной фосфатазы в сочетании с установленным нами повышением концентрации Са в крови свидетельствует о дистрофических процессах в костной ткани, одним из факторов, вызывающих эти изменения, может являться стимуляция малыми дозами паращитовидных желез.

Нами установлено, что субклинические дозы ионизирующего излучения 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год негативно влияют на течение свободнорадикальных процессов в клетках крови крупного рогатого скота, что характеризуется торможением времени формирования пиков спонтанной продукции АФК, увеличением суммарного количества свободных радикалов, образованных при спонтанной хемилюминесценции и сокращением суммарных объемов АФК при активированной ХЛ-реакции, что ведет к сокращению индекса активации, который отражает потенциальные возможности фагоцитов крови к индукции респираторного взрыва в ответ на дополнительное антигенное раздражение.

У мелкого рогатого скота при дозовой нагрузке в 1,55 мГр/год в периферической крови мы регистрировали умеренный лейкоцитоз и эритроцитоз, что объясняется стимулирующим действием субклинических доз на органы гемопоэза у овец. Подобные изменения описаны Ю.А. Александровым (2016) в работе по оценке влияния малых доз на гематологические показатели овец и интерпретированы как эффект радиационного гормезиса [6]. В периферической крови овец, как и в крови

крупного рогатого скота, субклинические дозы снижали фагоцитарную активность лейкоцитов. Это, по нашему мнению, может негативно отразиться на естественной резистентности организма животных.

У овец к характерным изменениям лейкоцитарного профиля крови, мы отнесли моноцито-, эозинопению, лимфоцитоз и выброс в кровяное русло незрелых форм нейтрофилов. Подобные изменения (за исключением эозинофилии) мы регистрировали в лейкоцитарной формуле крупного рогатого скота при поглощенной дозе 1,55 мГр/год. Эритроцитоз у овец сопровождался снижением уровня гемоглобина и гематокрита, по нашему мнению, это объясняется несовершенством эритропоэза в красном костном мозге. Фагоцитарный индекс лейкоцитов овец при субклинических дозах, как и у коров снижался, что однозначно связано со сокращением уровня моноцитов в крови. Снижение фагоцитарной активности лейкоцитов нами интерпретировалось как негативный фактор, влияющий на неспецифическую резистентность организма. При субклинической дозе 1,55 мГр/год у мелкого рогатого скота биохимические показатели сыворотки крови изменялись разнонаправленно. Мы регистрировали увеличение концентрации кальция и общего белка, но снижение щелочной фосфатазы, АСТ, креатинина. Субклиническая доза 1,55 мГр/год инициирует свободнорадикальные процессы в организме овец, о чем свидетельствует ускорение генерации вторичных радикалов, рост суммарных объемов всех видов АФК, особенно при антигенстимулированной ХЛ-реакции. Это вызывает увеличение индекса активации фагоцитов крови, участвующих в реализации механизмов неспецифической резистентности организма.

В результате моделируемого воздействия ионизирующего излучения в дозах от 1,33 мГр до 500 мГр на образцы крови крупного рогатого скота «in vitro» установлено волнообразное изменение гемоглобина, содержания эритроцитов и СОЭ. Выявленный характер колебаний подтверждает теорию бимодального развития радиобиологических эффектов в тканях при действии

ионизирующего излучения в малых дозах, выдвинутую Е.Б. Бурлаковой (1999) и подробно описанную Ю.П. Чуковой (2020) [36, 214].

Однократное внешнее гамма-облучение проб периферической крови коров в дозе 5 мГр не влияло на содержание общего белка, альбуминов, альфа-глобулинов, гамма-глобулинов, АСТ, АЛТ. В то же время при этой дозе уменьшалась содержание креатинина и бета-глобулинов. Полученные нами данные согласуются с результатами, полученными Л.М. Пивиной с соавторами (2018), которые установили отсутствие изменений в концентрации общего белка и ферментов АЛТ и АСТ при малых дозах облучения [163]. На основании вышеизложенного можно заключить, что доза «in vitro» ионизирующего воздействия в 5 мГр являлась недостаточной для развития значительных радиобиологических эффектов в пробах крови.

При воздействии ионизирующего излучения в дозе 50 мГр в образцах крови снижалось содержание общего белка, что полностью согласуется с данными, полученными при облучении белых крыс в дозе 50 мГр А. Баурджан с соавторами (2020) [25]. При воздействии на организм ионизирующего излучения запускается каскадный процесс в клетках тканей. При этом одномоментно идут процессы повреждения и репарации, поэтому для снижения концентрации общего белка необходима большая доза, чем при облучении «in vitro». Нами установлено, что облучение проб периферической крови в дозе 50 мГр сокращало уровень бета-глобулинов, креатинина и не изменяло содержание альбуминов и альфа-, гамма-глобулинов.

При облучении в дозе 500 мГр снижалось относительное содержание альфа-глобулинов, концентрация АЛТ и АСТ. В литературном обзоре А. Баурджан [25] приведены данные, что при облучении крыс в дозе 6 Гр увеличивались концентрации АСТ, АЛТ и щелочной фосфатазы. В настоящей работе установлено, что при воздействии дозы в 500 мГр в периферической крови не изменялось содержание креатинина, общего белка, альбуминов и бета-, гамма-глобулинов.

Нами установлена высокая степень резистентности альбуминов и гамма-глобулинов к ионизирующему воздействию в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр. Выявлена резистентность альфа-глобулинов к поглощенным дозам 5 мГр и 50 мГр. Степень снижения концентрации креатинина и альфа-глобулинов в дальнейшем, как один из показателей, может использована при реконструкции значений доз облучения в диапазоне 5-50 мГр.

Содержание щелочной фосфатазы при облучении в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр не изменялось, что отличается от данных, полученных при облучении «in vitro» крови человека. А.А. Тимошевским и А.Н. Гребенюк (2013) установлено снижение уровня щелочной фосфатазы при воздействии дозы 50 мГр [195].

В образцах периферической крови при внешнем облучении «in vitro» выявлены изменения клеточного состава лейкоцитов в крови овец при дозе 1,55 и коров при дозах 1,33 и 1,55 мГр/год. В устойчивой эритроцитопении при облучении образцов крови в дозах 50-500 мГр нами установлена зависимость «доза-эффект». Необходимо отметить, что это явилось исключением, так как в динамике всех остальных показателей подобной зависимости не установлено. Доза в 50 мГр является пороговой для исчезновения юных форм нейтрофилов, что указывает на их высокую радиочувствительность. При облучении проб крови в сценарии «in vitro» так же, как и при действии малых поглощенных доз на животных («in vivo»), уменьшалась фагоцитарная активность лейкоцитов, это указывало на снижение неспецифической резистентности организма и развитие недостаточности клеточного звена иммунной системы организма. Совокупность выявленных изменений клеточного состава крови при облучении «in vitro» относится к информативному и может служить интегральным прогностическим показателем в оценке влияния малых доз на состояние кроветворной системы организма животных.

Модельное воздействие субклинических доз ионизирующего излучения «in vitro» на образцы периферической крови крупного рогатого скота

вызывало волнообразное колебание следующих биохимических показателей: щелочной фосфатазы, АСТ, АЛТ, общего белка, альбуминов, глобулинов. Подобные изменения подтверждают теорию нелинейной бимодальной зависимости показателей при действии малых доз на организм животных.

В нашей работе 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 1,55мГр, особенно выраженные между показателями суммарной антигенактивированной продукции первичных радикалов при дозе 1,33 мГр и суммарной генерации вторичных АФК при дозе 1,55 мГр.

Для определения степени эколого-радиобиологического воздействия субклинических доз на агробиоценозы мы предлагаем использовать интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов (ИПРОА). Расчет ИПРОА предлагаем проводить по следующим эколого-радиобиологическим индексам: мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения, удельной активности ^{137}Cs в почвах и кормах, клеточного состава лейкоцитов, их фагоцитарной активности и суммарной продукции первичных АФК при спонтанной ХЛ-реакции. Значение ИПРОА позволит дифференцировать аграрные ландшафты по степени радиоактивного техногенного загрязнения. Интегральную оценку техногенного загрязнения в Брянской области А.П. Белоусова предлагает проводить по следующим показателям: МАЭД, индивидуальная доза, удельная активность растений, сена, молока [27]. Данные показатели оценивают техногенное воздействие на человека, который является основным оберегаемым объектом, но комплексно не оценивают влияние техногенного загрязнения аграрных ландшафтов.

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 удельную активность ^{137}Cs в продукции растениеводства и животноводства.

4. В агробиоценозах Красноярского края с фоновым техногенным загрязнением организм сельскохозяйственных животных испытывает воздействие ионизирующего излучения в дозе 0,92 мГр/год. В агробиоценозах с дополнительным техногенным радиоактивным загрязнением сельскохозяйственные 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 относятся к сверхмалым дозам.

5. Поглощенные дозы ионизирующего излучения (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 ионизирующего излучения 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 ионизирующего излучения 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 свободных радикалов, образованных клетками, находящимися состоянии «покоя», и 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 радикалов; 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 ионизирующего излучения 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 также 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 ионизирующего 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; сокращение количества бета-глобулинов при дозах 50 мГр и 500 мГр; уменьшение концентрации АСТ в диапазоне 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 радикалов 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: мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) внешнего гамма-излучения, удельная активность ^{137}Cs в почвах, кормах, клеточный состав лейкоцитов, их фагоцитарная активность и суммарная продукция первичных свободных радикалов при спонтанной ХЛ-реакции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, М.С. Молекулярный ответ фибробластов кожи человека с мутацией m.14441 T>C на воздействие ионизирующего излучения в малых и средних дозах / М.С. Абрамова, М.С. Конькова, В.Ю. Момот, А.А. Кальянов. Медицинская генетика 2020. – 19(9) – С. 91-93. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.09.91-93.

2. Аверин, В.С. Формирование поглощённых доз у крупного рогатого скота от внешнего и внутреннего облучения в условиях пастбищного содержания на загрязнённой радионуклидами территории / В.С. Аверин. Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна. Учреждение образования "Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина" (Мозырь). – 2015 – №1(45) – С.3-9.

3. Агаева, Е. В. Особенности влияния облученных костномозговых мезенхимных стромальных клеток на продукцию макрофагами цитокинов и активных форм кислорода / Е.В. Агаева, В.Н. Петров, А.Г. Коноплянников, Л.А. Лепехина, Е.В. Саяпина, О.Е. Поповкина. Радиационная биология. Радиоэкология. – 2019. – Т.59. №4, С 377-387. DOI: 10.1134/S0869803119040040.

4. Акмуллина, Н.В. Радиоэкологический мониторинг объектов ветеринарного надзора / Н.В. Акмуллина. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2014. – Т. 220. – Вып. № 4. – С. 14-16.

5. Александров, Ю. А. Влияние малых доз ионизирующих излучений на иммунологическую реактивность млекопитающих при многократных воздействиях / Ю.А. Александров. Вестник Марийского государственного университета – 2017. Т. 3. № 1 (9) – С. 7-12.

6. Александров, Ю. А. Влияние малых доз коротковолновых электромагнитных излучений на продуктивные и гематологические

показатели овец / Ю.А. Александров. Вестник Марийского государственного университета – 2016. – Т. 2. № 2 (6) – С. 7-9

7. Алексахин, Р. М. Ядерная энергия и биосфера / Р.М. Алексахин. – М.: Энергоиздат, 1982 – 215с.

8. Алексахин, Р.М. О миграции стабильных и радиоактивных изотопов щелочных и щелочноземельных элементов в биологической цепи почва-растение-молоко / Р.М. Алексахин, А.Н. Сироткин // Общая биология. – 1974. – Т. XXXV. №3. – С 414-421.

9. Алексахин, Р.М. Особенности миграции радионуклидов в цепи почва – растение – продукты животноводства в Белорусском Полесье / Р.М. Алексахин, Р.Г. Ильязов, А.Н. Сироткин; под ред. Р.Г. Ильязова. Радиоэкологические аспекты животноводства. – Гомель : Полеспечать, 1996г. – С 27-37.

10. Алесина, М.Ю. Радиобиологические эффекты в различных органах и тканях животных в зоне радионуклидного загрязнения в результате аварии на ЧАЭС. / М.Ю. Алесина, В.И. Рясенко, П.И. Рымаренко. ЧПКП «Прогресс» г. Киев, НПО «Припять» г. Чернобыль. г. Киев 1994г. С 6-16.

11. Амаро Медина, Д. Р. Интегральная оценка экологического благополучия речных систем / Д. Р.Амаро Медина, В.В. Дмитриев. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. – 64 (2). – С.162–184. DOI: 10.21638/spbu07.2019.201.

12. 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.

13. Андреева, Н.В. Влияние извести на биологическую подвижность 137Cs в почвах различных типов / Н.В. Андреева, Н.В. Белова, В.К. Кузнецов, Н.И. Санжарова. Агрохимический вестник. – 2018. – Т. 5. № 5. – С. 48-52.

14. Анненков, Б. Н. Метаболизм продуктов деления в организме сельскохозяйственных животных / Б. Н. Анненков // Радиобиология и радиоэкология с.-х. животных. – 1973. – С.28-44.

15. Анненков, Б.Н. Радиационные катастрофы: последствия и контрмеры в сельском хозяйстве / Б.Н. Анненков. М. Санэпидмедиа 2008 – 371с.

16. Аннунунат, Д. О. Изотопы и радиация в сельском хозяйстве в 2Т. / Д. О. Аннунунат. – М: Агропромиздат, 1989. – 366с.

17. Антонишкис, Ю.А. Радиационная гематология в системе контроля состояния здоровья моряков (Гематологическая диагностика донозологических состояний и острой лучевой болезни) / Ю.А. Антонишкис, А.А. Хадарцев, А.А. Несмеянов .– Тула – Санкт-Петербург, 2013.– 304 с.

18. Апарин, Б.Ф. Содержание радионуклидов (226Ra, 232Th, 40K, 137Cs) в черноземах Волгоградской области разных сроков отбора образцов / Б.Ф. Апарин, Е.В. Мингареева, Н.И. Санжарова, Е.Ю. Сухачева // Почвоведение. – 2017. – № 12 – С. 1457-1467.

19. Арышева, С.П., Влияние реабилитационных мероприятий на переход 137Cs в системе почва-растение-продукция животноводства на радиоактивно загрязненных кормовых угодьях Калужской области / С.П. Арышева, А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко, Г.И. Попова // Дневник науки. – 2018. – № 5 (17). – С. 5.

20. Асташева, Н.П. Влияние облучения и голодания на физиологические, клинические, биохимические показатели и воспроизводительные качества тёлок (экспериментальные исследования) / Н.П. Асташева, Л.Н. Ульяненко // Радиация и риск. – 2017. – Том 26. № 4. – С 132-144. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-4-132-144.

21. Ашинов, Ю.Н. Радионуклиды 137Cs 90Sr в пахотных почвах Адыгеи / Ю.Н. Ашинов, Ф.Ю. Схашок // Новые технологии. – М., 2013. – № 1. – С. 56–59.

22. Атлас Современной радиационной обстановки на территории Красноярского края / Красноярск. М-во экологии и рационального природопользования Красноярского края, 2019 – 84с.

23. Базарбаев, Н. Н. Радионуклиды в почвах, водах и приземном воздухе в отдельных горных местностях Узбекистана / Н.Н. Базарбаев, А.К. Иванов, А.Х. Иноятов, О.Б. Маматкулов, И.Т. Муминов, Т.М. Муминов, Л.Т. Нурмуродов, А.А. Сафаров, А.Т. Худайбердиев // Радиационная биология, радиоэкология. – 2022 – Том 62, №2 – С. 206-219.

24. Барчуков, В.Г. Распространение трития и его соединений в окружающей среде при нормальных условиях эксплуатации Калининской АЭС. / В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков, В.Н. Клочков, Н.А. Еремина, А.А. Максимов // Медицина труда и промышленная экология. – 2021. – 61(9) – С. 594-600. DOI:10.31089/1026-9428-2021-61-9-594-600.

25. Бауржан, А. Изменение биохимических показателей крови экспериментальных животных после воздействия ионизирующего излучения / А. Бауржан, Ы.О. Кайрханова, Л. Пак, Д.Е. Узбеков, Г.К. Амантаева, Б. Русланова, М.М. Апбасова, Ж.Ж. Абишев // Медицинский журнал. Астана. – 2020. – №1 (103). – С. 30-36.

26. Бекетов, А.Д. Земледелие Красноярского края: учеб. пособие / А.Д. Бекетов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 1984. – 335 с.

27. Белоусова, А.П. Интегральная оценка влияния разнохарактерной техногенной нагрузки на экологическое состояние Брянской области / А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко // Вода и экология: проблемы и решения. – 2021 – №3 (87). – С 16-32. DOI:10.23968/2305-3488.2021.26.3.16-32.

28. Богдаевич, И. М. Зависимость накопления 137Cs и 90Sr в травяных кормах от степени окультуренности дерново-подзолистых почв / И. М. Богдаевич, А. Г. Подоляк, Т. В. Арастович, В. П. Жданович // Радиоэкология. – 2005. – Т45. – №2. – С 241-247.

29. Богинская, А.И. Загрязнение почвенного покрова Брянской области техногенными радионуклидами (137Cs и 90Sr) / А.И. Богинская // Метеорологический вестник – 2018 – Т 10 №2. – С 28-36.

30. Бурякова, А.А. Оценка дозы и экологического риска для объектов биоты в районе расположения Горно-химического комбината / А.А. Бурякова,

И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина, М.В. Ведерникова, С.В. Панченко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Том 60, №6. – С 661-670. DOI: 10.31857/S0869803120060156.

31. Булатов, В.И. Россия радиоактивная. / В.И. Булатов. – Новосибирск: ЦЭРИС,1996.

32. Булатов, В.В. Проблема малых и сверхмалых доз в токсикологии. Фундаментальные и прикладные аспекты / В.В. Булатов, Т.Х. Хохлов, В.В. Дикий, С.В. Заонегин, В.Н. Бабин. // Российский химический журнал– М. 2002. т. XLVI, №6 – С. 58-62.

33. Булгаков, А. А. Моделирование перехода радиоцезия из почвы в растения / А. А. Булгаков, О. В. Шкута // Радиоэкология. – 2004. – Т44. – №3. – С 351-360.

34. Булдаков, Л. А. Проблемы распределения и экспериментальной оценки допустимых уровней цезия-137, стронция-90, радия-106 / Л. А. Булдаков, Ю. И. Москалев. – М.: Атомиздат, 1968. – 295с.

35. Булдаков, Л.А. Радиационное воздействие на организм. Положительные эффекты / Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова. М.: Информ-Атом. 2005. – 247 с.

36. Бурлакова, Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности / Е.Б. Бурлакова // Российский химический журнал. – 1999. – Т.XLIII. – № 5. – С.3-11.

37. Бурлакова, Е.Б. Чернобыль, малые дозы радиации. / Е.Б. Бурлакова // Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Материалы Международной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 17–21 марта 2014 г.). Сыктывкар. – 2014 – С.27-30.

38. Бурлакова, Е.Б. Радиационно-индуцированные изменения структурного состояния мембран клеток крови человека / Е.Б. Бурлакова, М.В.

Аткарская, Л.Д. Фаткуллина, С.Г. Андреев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т.54. – № 2. – С.162-168.

39. Бурлакова, Е.Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Е.Б. Бурлакова, А.А. Конрадов, Е.Л. Мальцева // Проблемы регуляции в биологических системах. Биофизические аспекты / под общей ред. А.Б. Рубина. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований. – 2007. – С. 390–423.

40. Булохов, А.Д. Аккумуляция ^{137}Cs растениями луговых экосистем приграничных территорий Брянской, Гомельской и Черниговской областей / А.Д. Булохов [и др.] // Научный диалог. – 2014. – № 1. –С. 5–13.

41. Васильева, С.В. Клиническая биохимия крупного рогатого скота: учебное пособие. – 2-е изд., испр./ С.В. Васильева, Ю.В. Конопатов. – СПб: Издательство Лань, 2017. – 188с.

42. Васин, М. В. Радиомодуляторы как средства биологической защиты от окислительного стресса при воздействии ионизирующей радиации / М.В. Васин, И.Б. Ушаков // Успехи современной биологии. – 2020. – Том 140, №1. – С 3-18. DOI: 10.31857/S0042132420010081.

43. Верещак, Н.Н. Оценка показателей иммунной системы и методы коррекции иммунной недостаточности у продуктивных животных и птицы в Уральском регионе: автореф. дис. докт. ветерин. наук: 16 00 03-ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологиейи иммунология; 16 00 01-диагностика болезней и терапия животных / Верещак Наталья Александровна – Екатеринбург 2007.– 42с

44. Владимиров, Ю.А. Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция / Ю.А. Владимиров, Е.В. Проскурина // Успехи биологической химии. – 2009. – Т. 49. – С. 341–388.

45. ВП 13.73.13/12-00. Ветеринарные правила обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного

происхождения. Оценка доз облучения сельскохозяйственных животных на территории, загрязненной радионуклидами. – М.: ВНИИСХРАЭ, 2000. – 17с.

46. Возможность адаптации к малым дозам радиации /под ред. А.В. Аклеева. – Санкт-Петербург: СпецЛит – 2019. – 111с.

47. Воронцова, З.А. Морфолого-статистическая характеристика взаимодействия периферических эндокринных желез в экспериментальной модели отдаленных последствий γ-облучения. / З.А. Воронцова, Ю.Б. Черкасова, С.Н. Золотарева // Вестник новых медицинских технологий. Электронный журнал. – 2014. – №1. DOI: 10.12737/3867.

48. Гегерь, Э.В. Методы оценки эколого-гигиенического состояния территорий. / Э.В. Гегерь, Г.П. Золотникова, В.А. Капцов // Гигиена и санитария. – 2019 – 98(12) – С.1338-1341. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-12-1338-1341.

49. Герасимова, Т.В. Современный взгляд на проблему биологических эффектов радиационного излучения на живые организмы (обзор литературы) / Т.В. Герасимова, Л.А. Зюлькина, Н.И. Микуляк, Г.Г. Кавтаева, А.И. Зиновьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2020. – № 3 (55). – С. 104-117. – DOI 10.21685/2072-3032-2020-3-10.

50. Гераськин, С.А. Подведение итогов исследований в области радиоэкологии / С.А. Гераськин, П.Ю. Волкова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2018. – Т. 58. № 1. – С. 101-104.

51. Гераськин, С. А. Что мы узнали о биологических эффектах облучения в ходе 35-летнего анализа последствий аварии на чернобыльской АЭС / С.А. Гераськин, С.В. Фесенко, П.Ю. Волкова, Н.Н. Исамов // Радиационная биология. Радиоэкология – 2021, том 61, №3. – С 234-260.

52. ГН 1.1.029-95. Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. – 15с.

53. Горчаков, В.В. Уроки Фукусимы-1. / В.В. Горчаков В.В. // Таможенная политика России и Дальнем Востоке – 2023. – №1 (102). – С.109-121.

54. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы Почвы Общие требования к отбору проб. – М., 2004. – 3с.

55. ГОСТ 31777-2012. Овцы и козы для убоя баранина, ягнятина и козлятина в тушах. Технические условия. Москва. Санддартинформ 2014. – 16с.

56. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году» – Красноярск, 2019. – С 39-52.

57. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году». – Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, 2020. – С 44-59.

58. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году» – Красноярск, 2021. – С 46-62.

59. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году» – Красноярск, 2022. – 317с.

60. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году» – Красноярск, 2023. – С.49-73.

61. Грабовский, Е. В. Анализ индукции апоптоза лимфоцитов периферической крови человека сверхинтенсивным гамма-излучением in vitro / Е.В. Грабовский, Г.М. Олейник, Е.Г. Крастелев, В.П. Смирнов, Е.В. Хмелевский, В.К. Боженко, А.М. Шишкин, А.В. Иванов, Т.М. Кулинич // Вестник РГМУ – 2017. – №6. – С. 59-66.

62. Григорьев, А.И. Особенности формирования доз в населенных пунктах, расположенных на берегах Енисея в зоне наблюдения Горно-химического комбината / А.И. Григорьев, Л.В. Панкратов, Ю.С. Ревяко и др // Радиоэкология XXI века: материалы Международной научно-практической конференции Красноярск 14-16 мая 2012 года. Красноярск: СФУ– 2012. – С.235-246.

63. Грицук, А.И. Метаболические показатели плазмы крови животных при воздействии внешнего облучения / А.И. Грицук, Н.С. Мышковец, Н.Е. Фомченко // Проблемы здоровья и экологии. – 2010. – №2. – С 92-94.

64. Губарева, О.С. Потребность в ферроцинсодержащих препаратах для производства молока и мяса, соответствующего санитарно-гигиеническим нормативам, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / О.С. Губарева, П.В. Прудников, П.Н. Цыгвинцев, Е.Н. Алешкина, Н.Н. Исамов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4 (68). – С. 46-51.

65. Губарева, О.С. Оценка радиологической эффективности комплексного применения смеси комбикормов с ферроцинсодержащими препаратами в хозяйствах юго-западных районов Брянской области / О.С. Губарева, Н.Н. Исамов, П.Н. Цыгвинцев, Е.И. Рясная, Е.Н. Алешкина // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26. № 1. – С. 89-99.

66. Губарева, О.С. Применение новых ферроцинсодержащих комплексных кормовых добавок для снижения содержания 137Cs в молоке коров / О.С. Губарева, Н.Н. Исамов, П.Н. Цыгвинцев // Радиация и риск. – 2015. – Т. 24. № 4. – С. 35-42.

67. Гулаков, А.В. Оценка поглощенной дозы внутреннего облучения крупных млекопитающих, обитающих на территории радиоактивного загрязнения / А.В. Гулаков, Д.Н. Дроздов // Радиоэкологические последствия радиационных аварий к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 22–23 апреля 2021 г. / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой, д.т.н. В.М. Шершакова. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, – 2021. – С 65-67.

68. Голутвина, М. М. Контроль за поступлением радиоактивных веществ в организм человека и их содержанием / М. М. Голутвина, Ю. В. Абрамов; под ред. Л.А. Булдакова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.

69. Давыденко, А.М. Распределение радионуклидов в луговых почвах горных и степных территорий / А.М. Давыденко [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11. – С. 108–109.

70. Данилкина, О.П. Основы клинической диагностики: методические указания по курсу «Основы ветеринарии»: методические указания / О.П. Данилкина. – Красноярск: КрасГАУ, 2011. – 55с.

71. Донник, И.М. Физиологические особенности животных в районах техногенного загрязнения / И.М Донник [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 1(93). – С. 26–28.

72. Доклады советских ученых – Женева, 1958г. / И.В. Гулякин, Е.В. Юдинцева // Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. – 1959. – Т.5.

73. Доклад Генеральной ассамблеи ООН. Научного комитета по действию атомной радиации / НКДАР. – 1982.

74. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. // Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. – М.: «САМ полиграфист», 2015. – 296 с.

75. Дюкина, А.Р. Влияние инфракрасного и рентгеновского излучений на продукцию активных форм кислорода в крови и индукцию цитогенетических повреждений в костном мозге мышей in vivo / А.Р. Дюкина, С.И. Заичкина, О.М. Розанова, С.П. Романченко, В.Н. Мальцев, Г.Ф. Аптикаева // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Том 51, №5. – С. 536-541.

76. Егорова, И.А. Особенности накопления радионуклидов в растениях Северо-Западного Алтая / И.А. Егорова, Ю.В. Кислицина, А.В. Пузанов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 11 (61). – С. 32-38.

77. Ефремов, И.В. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва – растения / И.В. Ефремов, Н.Н. Рахимова, Е.Л. Янчук // Вестник ОГУ. – 2005. – № 12. – С. 42-46.

78. Еремина, И.Ю. Возрастные особенности кислородного метаболизма клеток крови крупного рогатого скота / И.Ю. Еремина, Г.В. Макарская, С.В. Тарских // Вестник КрасГАУ – 2010. – вып. 11. – С.128-135.

79. Епимахов, В.Г. Оценка хронического воздействия ионизирующей радиации на организм овец / В.Г. Епимахов // Дневник науки. – 2017. № 12 (12). – С. 9.

80. Земсков, В.М. Изучение функционального состояния фагоцитов человека (кислородный метаболизм и подвижность клеток): Методические рекомендации / В.М. Земсков, А.А. Барсуков // М.: Институт иммунологии МЗ СССР. 1988.– 20 с.

81. Земсков, В.М. Фундаментальные и прикладные аспекты анализа кислородного метаболизма фагоцитарных клеток / В.Н. Земсков, А.А. Барсуков, Д.А. Гнатенко и др // Успехи современной биологию. – 2013. – том 133. № 5. – С. 469–480.

82. Звонова, И.А. Дозы внутреннего облучения у населения префектуры Фукусима вследствие аварии на АЭС Фукусима-Дайичи / И.А. Звонова // Радиационная гигиена. – 2020. – Т14 №3 – С. 98-109. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-98-109.

83. Зотина, Т.А. Сравнительная оценка содержания переходных металлов (Cu, Zn,Mn, Pb, Cd) и радиоцезия (137Cs)в щуке (esox lucius) и налиме (lota lota) р. Енисей / Т.А. Зотина, О.В. Анищенко, Е.А. Трофимова, Д.В. Дементьев // Сибирский экологический журнал. – 2022. – Т.29 №1 – С. 111-121 DOI:10.15372/SEJ20220110.

84. Иванов, В.В. Статистики коррелированных радиоактивных загрязнений / В.В. Иванов, С.И. Спиридонов, Р.А. Михаилова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 285-292. DOI: 10.7868/S0869803118030086.

85. Изместьева, О.С. Изучение влияния низкодозового γ-облучения на функциональное состояние эритроцитов периферической крови крыс / О.С.

Изместьева, А.А. Лузянина, И.Л. Ершова и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т.54. – № 5. – С.493-499.

86. Ильин, Д. И. Атомная энергия./ Д. И. Ильин, Ю. И. Москалев. – М.: Атомиздат, 1957.

87. Ильязов, Р. Г. Метаболизм радиоцезия в организме крупного рогатого скота. / Р. Г. Ильязов // Радиоэкологические аспекты животноводства. 1996. – С 46-58.

88. Исамов, Н. Н. Физиологическое состояние крупного рогатого скота на радиоактивно загрязненной территории / Н.Н. Исамов, Л.В. Исамова, В.И. Исамова // Ветеринария. – 2002. – №3. – С.57-59.

89. Исамов, Н.Н. Оценка экономической эффективности технологии производства продукции животноводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, после применения смеси комбикормов с ферроцин содержащими препаратами в юго-западных районах Брянской области /Н.Н. Исамов, А.В. Панов, П.Н. Цыгвинцев, О.С. Губарева, Е.Н. Алешкина // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 4 (364). – С. 23-25.

90. Исамов, Н.Н. Анализ закономерностей всасывания радионуклидов в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных / Н.Н. Исамов Н.Н., С.В, Фесенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – Т.61. №1, – С 87-104. DOI: 10.31857/S0869803121010069.

91. Кадочников, М.Ю. Эколого-биологические особенности крупного рогатого скота в районах интенсивного техногенного загрязнения окружающей среды: автореф. дис. кад. ветерин. наук: 16 00 03-ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологиейи иммунология; 03 00 16-экология / Кадочников Михаил Юрьевич – Екатеринбург., 2007.– 23с.

92. Кайзер, М.И. Стронций-90 в объектах окружающей среды Горного Алтая / М.И. Кайзер, О.В. Кузнецова, Т.В. Больбух // Научный вестник Горно-Алтайского государственного университета. – 2020. – Т.14. – С. 25-33.

93. Карпенко, А.Ф. О производстве молока в частном секторе на территории радиоактивного загрязнения / А.Ф. Карпенко// Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии – 2020. – №1 (77). – С 33-37.

94. Кимаковская, Н.А. Радиоэкологическое обоснование принципа нормирования содержания цезия-137 в почвах сельскохозяйственных угодий / Н.А. Климаковская, Г.П. Перепелятников // Безопасность и техника. – 2014. – Т. 33. – С. 45–50.

95. Киршин, В.А. Ветеринарная радиобиология: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / В.А. Киршин, А.Д. Белов, В.А. Булдаков. – М.: Агропромиздат, 1986. – 175с.

96. Киселев, С.М. Оценка состояния природной среды в районах расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / С.М. Киселев, С.В. Ахромеев, С.А. Гераськин, А.А. Удалова, В.Г. Старинский, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, Н.К. Шандала // Вопросы радиационной безопасности. – 2017. – № 4 (88). – С. 27-42.

97. Козьмин, Г.В. Закономерности поведения радиоактивных частиц в пищевой цепочке и желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота / Г.В. Козьмин, В.Г. Епимахов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – Т. 55. № 6. – С. 632-645. DOI: 10.7868/S0869803115050094.

98. Козьмин, Г.В. Транспорт радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте овец / Г.В. Козьмин, В.Г. Епимахов, А.С. Снегирев, Н.И. Санжарова, В.А. Бударков // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 305-316. DOI: 10.7868/S0869803118030104.

99. Кодинцева, Е. А. Цитокиновый профиль лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию, в отдаленные сроки после облучения / Е.А. Кодинцева, А.А. Аклеев, Е.А. Блинова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021, – Том 61, № 5, - С. 506-514. DOI: 10.31857/S0869803121050076.

100. Конюхов, Г.В., Низамов Р.Н., Тарасова Н.Б., Василевский Н.М. Стимулирующее действие малых доз радиации на организм: монография. /

Г.В. Конюхов, Р.Н. Низамов, Н.Б. Тарасова, Н.М. Василевский.– Казань: ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». 2018. – 323с

101. Костенко, С.А. Мониторинг цитогенетических показателей соматического мутагенеза млекопитающих в условиях хронического низкодозового облучения / С.А. Костенко, Е.В. Федорова, П.П. Джус и др. // Материалы международной конференции Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды. Сыктывкар. – 2014. – С.53-57.

102. Котеров, А.Н. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз / А.Н. Котеров, А.А. Вайнсон // Медицинская Радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60 № 3. – С. 5-31.

103. Кочиш, И.И. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах луговых агроценозов Шатурского района Московской области / И.И. 91.Кочиш [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2014. – № 6. – С. 36–40.

104. Красноярский край в цифрах 2021: Стат.сб./Красноярскстат. – Красноярск, 2022. – 185 с.

105. Кречетников, В.В. Оценка текущей радиоэкологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях Новозыбковского района Брянской области / В.В. Кречетников, И.Е. Титов, О.А. Шубина, П.В. Прудников // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4 (62). – С. 25-30.

106. Кречетников, В.В. Радиационная обстановка в сельских населенных пунктах Новозыбковского района Брянской области по итогам паспортизации / В.В. Кречетников, И.Е. Титов, О.А. Шубина, В.В. Володин, Е.В. Гордиенко // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4 (68). – С. 51-56.

107. Кривоногова, А.С. Теоретическое обоснование и разработка системы получения качественной продукции молочного животноводства в

регионе с комбинированным техногенным загрязнением: автореф. дис. докт. биол. наук: 06 02 05-ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза / Кривоногова Анна Сергеевна – Москва., 2017.– 44с

108. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: утв. министром охраны окружающей среды и природных ресурсов 30.11.1992 г. – Москва: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов, 1992. – 58 с.

109. Кругликов, Б.П. Физиологическое состояние и продуктивные качества сельскохозяйственных животных, длительно содержащихся на загрязненной радионуклидами территории / Б.П. Кругликов и др // Первая Всесоюзная конференция Ядерного общества СССР. Обнинск 26-29 июня 1990 г.: Сб. докл. - М., 1990. – Т. 2. – С. 96-98.

110. Крупкин, П. И. Черноземы Красноярского края: учебное пособие / П. И. Крупкин. – Красноярск: КрасГАУ, 2002. – 332с.

111. КУ-94. Контрольные уровни содержания радионуклидов цезия-134, -137 и стронция-90 в кормах и кормовых добавках. М.: Минсельхозпрод России, 1994. –2с.

112. Кудяшева, А.Г. Процессы энергетического обмена в тканях полевки-экономки в условиях повышенного уровня радиоактивности в зависимости от динамики численности / А.Г. Кудяшева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2022.– № 10, – С.13-17.

113. Курбангалеев, Я.М. Использование малых доз ионизирующей радиации для улучшения хозяйственно-полезных качеств молодняка овец / Я.М. Курбангалеев, М.М. Шакуров, К.Т. Ишмухаметов // Сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ – 2018. – С. 207-209.

114. Курбаков, Д.Н. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в 30 км зоне ООО «НЛМК-Калуга» / Д.Н. Курбаков Д.Н., Т.В. Прохорова, В.К. Кузнецов, А.И. Санжаров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 9-1. – С. 81-87.

115. Кудяшева, А.Г. Изменчивость антиоксидантного статуса мелких млекопитающих в условиях техногенного радиоактивного загрязнения среды обитания / А.Г. Кудяшева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 21, № 2. – С.113-120.

116. Курганов, А.А. Методы и средства радиационного контроля в сельском хозяйстве / А.А. Курганов, В.Н. Мошарова. М.: 1995. – 178с.

117. Кузнецов, В.К. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в районе расположения Курской АЭС / В.К. Кузнецов, Н.Н. Исамов, Е.В. Сидорова, И.В. Гешель, Н.В. Андреева, А.И. Санжаров // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2018. – Т. 29. № 1. – С. 73-88.

118. Ламзина, М.Г. Формирование поглощенных доз при внешнем и внутреннем облучении коров / М.Г. Ламзина, А.С. Зенькин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2010. – Т. 202. – С. 116-123.

119. Лан, М.И. Использование радиационной стимуляции в повышении продуктивности сельскохозяйственных животных / М.И. Лан, В.Д. Инин, А.В. Остапчук // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Том II / Пензенский ГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ. – 2020. – С 107-109.

120. Ларионова, Н.В. Параметры накопления радионуклидов растениями в местах испытания боевых радиоактивных веществ на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона / Н.В. Ларионова, С.Н. Лукашенко, Н.И. Санжарова // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22. – № 4. – С. 60-65.

121. Ларионова, Н.В. Поступление радионуклидов из почвы в растения в зоне радиоактивных выпадений на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона / Н.В. Ларионова, С.Н. Лукашенко // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22. – № 3. – С. 65–71.

122. Левантин, Д.Л. Возрастная изменчивость костяка крупного рогатого скота. / Д.Л. Левантин. Труды института морф, животных им. А.Н. Северцева АН СССР.–-М.1957. – С.48-77.

123. Лукин, С.В. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем Белгородской области / С.В. Лукин, Р.М. Хижняк // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естественные науки. – 2012. – Т. 21. – Вып. 21. – С. 154–159.

124. Лысенко, Н.П. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды: учеб. пособие / Н.П. Лысенко [и др.]. – СПб.: Лань, 2005. – 240 с.

125. Ляндзберг, Р.А. Самые опасные ядерные аварии XX века / Р.А. Ляндзберг Р.А. // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. – 2022 – №V. – С. 113-115.

126. Малиновская, С.Л. Нормализация процессов свободнорадикального окисления в мышечной такни при развитии лучевой болезни воздействием низкоинтенсивного красного света в эксперименте / С.Л. Малиновская, В.С. Ермолаев, А.П. Баврина, В.А. Монич // СТМ – 2014. – Том 6, №2. – С 32-37.

127. Мартынова, А.М. Оценка радиоактивного загрязнения Среднего Енисея /А.М. Мартынова, А.В. Носов // Атомная энергия – 1997. – Т.85. Вып.5. май. – С 372-378.

128. Матвеенко, Т.И. Динамика накопления радионуклидов в почвенном покрове юга Хабаровского края [Электронный ресурс] / Т.И. Матвеенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006 – Вып. № 21.

129. Мельник, С.Н. Влияние стрессорного и радиационного воздействий на биохимические показатели сыворотки крови крыс / С.Н. Мельник, А.Д. Наумов, Л.Г. Барри // Проблемы здоровья и экологии – 2007. – №2 (12). – С 132-137.

130. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности ^{90}Sr ^{137}Cs ^{40}K на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs ^{40}K на гамма-спектрометре типа EL 1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и корма, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды, МВИ.МН 1181-2011 аттестована РУП Белорусский государственный институт метрологии №688/2011 от 17.11.2011. Научно-производственное унитарное предприятие АТОМТЕХ. Минск – 2011. – 33с.

131. Методика измерений удельной активности природных радионуклидов, цезия-137, стронция-90 в пробах объектов окружающей среды и продукции предприятий с применением спектрометра-радиометра гамма и бета-излучений МКГБ-01 РАДЕК и гамма-спектрометра МКСП-01 «РАДЕК», аттестована ФГУП «ВНИИМ», свидетельство № 126/210-(01.00250-2008)-2011.

132. Мирзоев, Э.Б. Клинико-гематологические показатели и общее состояние крыс, получавших гексацианоферрат (II) калия-железа (III) в качестве сорбента радионуклидов / Э.Б. Мирзоев, В.О. Кобялко, Н.Н. Исамов (мл), О.Л. Губина, Н.А. Фролова // Сельскохозяйственная биология. Сер. Биология животных. – 2015. – Т. 50. № 2. – С. 237-244. (РИНЦ – 0,304) DOI: 10.15389/agrobiology.2015.2.237rus.

133. Мирошников, А.Ю. Радиальное и латеральное распределение цезия-137 в почвах фоновых ландшафтов степей юга Западной Сибири / А.Ю. Мирошников [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 547-551.

134. Михеева, Е.А. Влияние малых доз ионизирующего излучения на показатели крови крупного рогатого скота / Е.А. Михеева // Зоотехния. – 2006. – № 7. – С.24-26.

135. МКРЗ, 2009. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. /Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ОООПКФ «Алана», 2009. – 344с.

136. Москалев, Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений / Ю.И. Москалев. – М.: Медицина, 1991. – 462 с.

137. МУ. Методика радиологического обследования территории. М.: Госкомгидромет, 1988.

138. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках. – М., 1996.

139. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. – М.: ВНИИСХРАЭ, 2000. – 28с.

140. МУ. По проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. – М.: 1994. – 95с.

141. МУ. По проведению локального мониторинга на реперных участках. – М., 1996г.

142. МУ. 2.6.1.1001 -00. Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов. – М.: Минздрав России, 2001. – 108с.

143. Мустафина, Д.Г. Миграция радионуклидов в биологической цепи «почва – вода – растения» / Д.Г. Мустафина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4. – Ч. 2. – С. 151–153.

144. Неганова, К.С. Особенности распределения радионуклидов в аллювиальных почвах Северного Кавказа / К.С. Неганова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 131-135.

145. Нерсесова, Л.С. Радиозащитный эффект креатина при повреждении ДНК мононуклеарных клеток периферической крови и адаптационные возможности креатин-креатинкиназной системы мозга и печени крыс / Л.С. Нерсесова, М.С. Петросян, Н.С. Бабаян, Г.Л. Тадевосян, Л.Г. Хондкарян, Ж.И. Акопян // Радиация и риск. – 2019. – Том 28. № 3 – С.119-131. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-3-119-131.

146. Низамов, Р.Н. Использование метода флуоресцирующих антител для ранней диагностики острой лучевой болезни / Р. Н. Низамов, М. Л. Гусарова, В. А. Киршин // мат. докл. научн.-произв. конф. по пробл. ветеринарии и животноводства. 1995. – С 185.

147. Окунев, А.М. Особенности перехода техногенных радионуклидов из рациона в молоко и мясо коров при пастбищном содержании на юге Тюменской области / А.М. Окунев // Вестник КрасГАУ.– 2018. – №6 – С. 250-254.

148. Окунев, А.М. Особенности накопления некоторых техногенных радионуклидов в кормовых культурах на типовых почвах юга Тюменской области / А.М. Окунев, Л.И. Мерзляков // Известия Оренбургского гос. аграрного университета.– 2015. – № 1. – Ч. 2. – С. 144-146.

149. Орлов, П.М. Корреляции и закономерности загрязнения 137Cs почв сельскохозяйственных угодий России / П.М. Орлов, Н.И. Аканова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – Том 66 №1 (391). – С. 58-61.

150. Орлов, Д.Ю. Изучение особенностей гематологических показателей новорожденных телят в условиях техногенного загрязнения / Д.Ю. Орлов // Биотика – 2015 – №6(7). – С. 93-98.

151. Оценка современной радиационной обстановки р. Енисей на участке от г. Красноярска до г. Игарки: отчет о НИР. – М., 1990. – 125 с.

152. Панов, А.В. Оценка и прогноз уровней загрязнения 137Cs сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов,

Е.В. Гордиенко, П.В. Прудников // Агрохимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 10-14.

153. Панов, А.В. Современное состояние и прогноз загрязнения 137Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, Н.И. Санжарова, О.А. Шубина, Е.В. Гордиенко, И.Е. Титов // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2017. – Т. 26. № 3. – С. 66-74.

154. Панов, А.В. Радиологический контроль продукции животноводства и кормопроизводства Юго-Западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию аварии на ЧАЭС / А.В. Панов, Н.Н. Исамов, Н.И. Санжарова, Ю.А. Рыбалко // Российский журнал "Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии". – 2015. – № 4(16). – С. 91-99.

155. Панов, А.В. Радиационно-экологический мониторинг агроэкосистем в районе Белоярской АЭС / А.В. Панов, А.В. Трапезников, В.К. Кузнецов, А.В. Коржавин, Н.Н. Исамов, И.В. Гешель // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. № 3. – С. 146-157.

156. Паницкий, А.В. Особенности распределения радионуклидов в почвах бывшего Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Паницкий, С.Н. Лукашенко, Р.Ю. Мангашева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 231–236.

157. Панченко, С.В. Подходы к оценке доз внешнего облучения различных видов биоты / С.В. Панченко, П.А. Блохин, П.А. Кизуб, Е.А. Гаврилина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2019. – Т59, №1. – С.75-81.DOI: 10.1134/S0869803119010077.

158. Панченко, С.В. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. / С.В. Панченко, И.И. Линге, Л.М. Воробьева, И.В. Капырин, М.Н. Савкин, С.С. Уткин, А.А. Аракелян, И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина, В.К. Иванов, А.И. Горский, С.А. Гераськин, А.А.

Удалова, С.М. Новиков, Т.Н. Унгаряну, А.В. Курындин, А.А. Строганов – М.: САМ полиграфист, – 2015. – 265 с.

159. Переволоцкий, А.Н. Оценка воздействия радиационных выбросов на биоту / Е.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая // Вестник Российской академии наук. – 2020. – том 90, № 6. – С.575-582.

160. Переволоцкий, А. Н. Концептуальные положения дозиметрической модели облучения растений биогеоценозов при хронических радиоактивных выпадениях / А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая, С.И. Спиридонов // Радиационная биология, Радиоэкология. – 2019 – Т 59, №1 – с 94-102. DOI: 10.1134/S0869803119010089.

161. Переволоцкая, Т.В. Кластерный анализ для оценки радиационного воздействия штатных выбросов АЭС на биоту / Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий, С.И. Спиридонов // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2018. – Т. 27. № 1. – С. 43-52.

162. Петряков, В.В. Ветеринарная оценка основных биохимических показателей сыворотки крови крыс под воздействием радиации при включении в рационы водоросли хлореллы / В.В. Петряков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета – 2017 – №4. – – С.144-145.

163. Пивина, Л.М. Оценка биохимических показателей, характеризующих состояние здоровья населения восточно-казахстанской области, подвергшегося радиационному воздействию вследствие испытаний ядерного оружия / Л.М. Пивина, Ю.М. Семенова, Т.Ж. Ерсин, Т.А. Булегенов, А.М. Манатова, Т.И. Белихина, А.С. Абишева, У.М. Эфендиев, Т. Жунусова // Наука и здравоохранение. – 2018. – № 5 (Т. 20). – С.105-114.

164. Плотко, Т.С. Оценка естественной резистентности коров в зоне радиоактивного загрязнения Киевского полесья в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / Т.С. Плотко, В.П. Славов, Н.И. Дедух // Актуальные

проблемы интенсивного развития животноводства. – 2017.– №20-2. – С 226-233.

165. Протас, А. Ф. Активность антиоксидантних ферментов и уровень свободнорадикальных процессов в ядрах клеток нейронов при низких дозах облучения / А.Ф. Протас // Биополимеры и клетка. – 1996. – Т. 12. No 3 – С. 47-53.

166. Пузан, Н.Д. молекулярные механизмы действия ионизирующего излучения. влияние облучения на белок (обзор литературы) / Н.Д. Пузан, И.А. Чешик // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2023 – №1 (29) – С. 14-26. DOI: 10.58708/2074-2088.

167. Равилов, А. З. Ветеринарная радиоэкология и радиоиммунология: монография/ А. З. Равилов, Р. Н. Низамов. – Казань: ФЭН, 2000. – 593с.

168. Ревич, Б. А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. Введение в экологическую эпидемиологию. / Б.А. Ревич. – М.: МНЭПУ, 2001. – 264с.

169. Радиобиология: учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений / А. Д. Белов, В. А. Киршин, Н. П. Лысенко; под редакцией А. Д. Белова. – М.: Колос, 1999. – 384с.

170. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. // Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. — М.: «САМ полиграфист», 2015. — 296 с

171. Радиологические последствия Чернобыльской аварии/ И. И. Крышев и др; под. ред. И. И. Крышева. – М., 1991. – 172с.

172. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко М.: РАН. – 2018 – 278 с.

173. Ракитский, В.Н. Расчет дозы облучения для некоторых компонентов пищевой цепочки пресноводной экосистемы реки Енисей в период деятельности предприятия ядерно-топливного цикла – Горно-

химического комбината, г. Красноярск / В.Н. Ракитский, Л.Г. Бондарева, Н.Е. Федорова // Радиационная гигиена – 2018.– Т 11 № 3. – с 22-29. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-22-29.

174. Рамзаев, В.П. Мощность амбиентного эквивалента дозы и плотность загрязнения почвы 137Cs на огородах в населенных пунктах Брянской области России в 2020–2021 гг. / В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.А. Братилова // Радиационная гигиена. – 2021– Том 14 №4. – С. 85-95. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-85-95.

175. Региональные нормативы качества окружающей среды «Допустимые значения радиационного загрязнения природной среды на территории Красноярского края», утверждены постановлением Правительства Красноярского края №670-п от 18.12.2012.

176. Санжарова, Н.И. Эволюция представлений о подвижности ^{137}Cs в системе почва-растение и роли калия в этих процессах / Н.И. Санжарова, Н.В. Белова, Н.В. Андреева // Агрохимия. –2014. – № 5. – С. 79-93.).

177. СанПиН 2.3.3.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: ЗАО «РИТ ЭКСПРЕСС», 2002. – 208с.

178. СанПиН 2.3.2.2401-08. «Дополнения и изменения № 10 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». – Москва: ЗАО «РИТ ЭКСПРЕСС», 2008. – 27 с.

179. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы. – Москва: Информ.-издат. центр Госкомсанэпиднадзора России, 2009. – 70 с.

180. Саруханов, В.Я. Сравнительная оценка радиочувствительности животных разных видов / В.Я. Саруханов, И.М Колганов, В.Г. Епимахов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 5. С. 475-480.

181. Сафонова В.Ю. Некоторые показатели радиочувствительности организма и их коррекция / В.Ю. Сафонова // Вестник ОГУ. – 2008. – №6 (88) – С. 112-117.

182. Сеитов, М.С. Дозиметрический и радиометрический контроль на пастбищах Илекского района / М.С. Сеитов, Д.Г. Мустафина, Э.Г. Хабибуллин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – Вып. № 1. – С. 153–155.

183. Серкиз Я. И. Хемилюминесцентные свойства крови как показатель тяжести радиационных повреждений, вызванных быстрыми нейтронами: дис. док. биол.наук: 03.00.01 / Саркиз Ярослав Иванович. – Киев, 1983. – 388 с.

184. Сидоров, В.В. К вопросу о влиянии радиоактивных веществ на здоровье населения и контрмерах при радиационном облучении как общемировой проблеме (обзор литературы). / В. В.Сидоров, Э. Н. Мингазова, А.Ю. Бушманов, М.М. Юсупова, Р.Н. Мингазов // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2022 – 30(5) – С. 771-775. DOI:10.32687/0869-866.

185. Сироткин, А. Н Метаболизм радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных. Сельскохозяйственная радиоэкология / А. Н. Сироткин; под. ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1991.

186. Скрипин, Л.Н. Накопление радионуклидов в объектах природной среды Ханты-Мансийского автономного округа / Л.Н. Скрипин [и др.] // Вестник Тюменского государственного университета. –2006. – № 5. – С. 47–55.

187. Смолин, С.Г. Физиология системы крови: метод. указания // Краснояр. гос. аграрн. ун-т. – Красноярск. – 2007. – 48с.

188. Спирин, Е.В. Метод расчета доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды / Е.В. Спирин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т. 49. № 5. – С. 608-616.

189. Стародубцева, М. Н. Параметры редокс-состояния плазмы крови и наноархитектоники поверхности эритроцитов при облучении цельной крови

крыс рентгеновским излучением in vitro / М.Н. Стародубцева, И.А. Челнокова, А.Н. Шклярова, О.Н. Шаховская, Е.В. Цуканова, Н.И. Егоренков // Актуальные проблемы медицины: сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гомель, 11 нояб. – 2021 г.: в. 3 т. Т. 1. – С 19-22.

190. Стародубов, А.В. Особенности миграции техногенных радионуклидов в загрязненных ландшафтах Брянской области / А.В. Стародубов [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 4. – С. 73–75.

191. Старосельская А.Н. Влияние на гемостаз малых доз ионизирующей радиации с индукторами окислительного стресса нелучевой природы / А.Н. Старосельская // Радиационная биология. Радиоэкология – 2021. – том 61, №1. – С 25-31. DOI: 10.31857/S0869803120060211.

192. Суринов Б.П. Изменение иммуномодулирующих и аттрактивных свойств летучих выделений мышей после радиационного воздействия или индукции «эффекта свидетеля» / Б.П. Суринов, В.Г. Исаева, Н.Н. Духова, А.Н. Шарецкий // Радиационная биология. Радиоэкология – 2021. – том 61, №1. – С 5-13. DOI: 10.31857/S0869803121010100.

193. Сухоруков, Ф.В. Закономерности распределения радионуклидов в долине реки Енисей / Ф.В. Сухоруков [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2004. – 286 с.

194. Танделов, Ю.П. Черноземы Красноярского края и проблема известкования. / Ю.П. Танделов О.В. Ершова. – Красноярск. – 2005. – 20с.

195. Тимошевский, А.А. Использование иммунологических показателей периферической крови при проведении судебно-медицинской экспертизы лиц, подвергшихся радиационному воздействию / А.А. Тимошевский, А.Н. Гребенюк // Судебно-медицинская экспертиза. 2013. – №1. – С 17-20.

196. Титаева, Н.А. Ядерная геохимия / Н.А. Титаева. – М.: Изд-во МГУ. – 2000 – 336с.

197. Титов, А.В. Обеспечение радиационной безопасности биообъектов при реабилитации территорий, загрязнённых 90Sr и 137Cs / А.В.

Титов, Н.К. Шандала, В.А. Серегин, А.А. Филонова, М.П. Семенова, Т.А. Дороньева // Радиация и риск. 2019. – Т 28 №1 – С. 82-91. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-82-91.

198. Титов, И.Е. Апробация технологий реабилитации сельскохозяйственных угодий с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС / И.Е. Титов, О.А. Шубина, Н.И. Санжарова, Т.Л. Жигарева, В.К. Кузнецова // Радиация и риск. 2012. – Том 21. №2. – С.33-38.

199. Торопов, А.С. Изучение форм нахождения стронция-90 в природных водах на примере Семипалатинского испытательного полигона / А.С. Торопов // Вестник Кузбаского государственного технического университета. 2028. – №2. – С 12-20. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-12-20.

200. Улащик, В.С. Активные формы кислорода, антиоксиданты и действие лечебных и физических факторов / В.С. Улащик // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры 2013. – 1. – С.60-69.

201. Усенова, О.А. Механизмы адаптации обменных процессов животного организма на фоне отдаленных последствий острого гамма-облучения / О.А. Усенова, А.С. Сайдахметова, Л.В. Ковалева, Н.М. Уразалина, Р.Р. Олжаева, З.В. Абдишева А.С. Аргынбекова // Фундаментальные исследования. 2015. – № 1 (часть 3). – С. 613-617.

202. Устинова, А.А. Процессы перекисного окисления липидов в условиях хронического действия малых доз радиации: автореф. дис. канд. биол. наук:03.00.04-биохимия / Устинова Алена Анатольевна – Уфа., 1999.– 22с.

203. Федоркова, М.В. Изучение факторов, влияющих на биологическую подвижность 137Cs в агроценозе на дерново-подзолистой песчаной почве / М.В. Федоркова, Н.В. Белова, Е.П. Пахненко, Н.В. Андреева // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. – № 2. – С. 19-25.

204. Федотова, А. С. Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края / А. С. Федотова. Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск. 2022. – 17 с.

205. Федотов Д.Н. Особенности морфологических механизмов адаптаций эндокринных желез у млекопитающих на территории высокого радиоактивного загрязнения и снятия антропогенной нагрузки / Д.Н. Федотов // Ученые записки УО ВГАВМ. 2022. – т. 58, вып. 2. – С.23-26. DOI 10.52368/2078-0109-58-2-23-26.

206. Федченко, Т.М. Содержание и распределение радионуклидов в почвах территории Новочеркасской ГРЭС / Т.М. Федченко [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 488-492.

207. Фесенко, С.В. Радиоэкологическое обоснование контрольных уровней содержания 137Cs в кормах сельскохозяйственных животных / С.В. Фесенко, Н.Н. Исамов, П.В. Прудников, У.С. Емлютина // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. – Т.61. №6. – С 652-663. DOI: 10.31857/S0869803121060047.

208. Фесенко, С. В. Закономерности изменения содержания 137Cs в молоке в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С. В. Фесенко, А. Ю. Пахомов, А. Д. Пастернак, В. А Горяинов, Г. А. Фесенко, А. В. Панов // Радиоэкология. – 2004. – Т44. – №3. – С 336-345.

209. Фесенко, С.В. Динамика содержания 137Cs в кормах сельскохозяйственных животных в районах Брянской области, пострадавших после аварии на ЧАЭС. / С.В. Фесенко, П.В. Прудников, Н.Н. Исамов, Е.С. Емлютина, И.Э. Епифанова, О.А. Шубина //Радиационная гигиена. 2023. – Том 16 № 1. – С.104-119. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-104-119.

210. Фесенко, С.В. Динамика снижения содержания 137Cs в кормовых культурах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. / С.В. Фесенко, П.В. Прудников, Н.Н. Исамов, Е.С. Емлютина, И.Е. Титов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022.–Т. 62, № 2. – С. 185-195. DOI: 10.31857/S0869803122010040.

211. Фрид, А. С. Миграция как один из показателей буферности ландшафта к загрязнению радиоцезием /А. С. Фрид // Радиоэкология. – 2005. – Т45. №3. – С 236-240.

212. Цветнова, О.Б. Естественные и техногенные радионуклиды в почвах юго-западной части Крымского полуострова / О.Б. Цветнова, О.П.Кононец, А.И. Щеглов // Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: мат-лы международ. науч.-практ. конф. Обнинск. – 2021. – С 220-223.

213. Цветнова, О.Б. Особенности распределения ^{137}Cs и тяжелых металлов в почвах 30-км зоны Смоленской АЭС /О.Б. Цветнова, А.И. Щеглов // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. БГИТА. Брянск. – 2005. – С. 143–147.

214. Чукова, Ю.П. Радиационный гормезис: физический смысл и значимость для естествознания / Ю.П. Чукова // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 16–18 сентября 2020 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2020.– С. 103-109.

215. Чуленбаева, Л.Е. Сравнительный анализ иммуноглобулинов при сочетанном воздействии пыль-радиационного фактора в отдаленном периоде / Л.Е. Чуленбаева, С.В. Кашанский, О.З. Ильдербаев //Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». 2018. – № 2(90). – С. 95-101.

216. Шевченко, Т.С. Влияние внешнего γ-облучения на общее содержание белка в лимфоцитах и тромбоцитах овец. / Т.С. Шевченко Т.С. // Сельскохозяйственная биология – 2013. – №4. – С 115-120.

217. Шпедт, А.А. Характеристика почв земледельческой части Красноярского края: лекция / А.А. Шпедт, О.А. Власенко. – Красноярск , 2006. – 22с.

218. Шишкина, Л.Н. Формирование биологических последствий воздействия ионизирующего излучения в малых дозах на организм / Л.Н.

Шишкина, М.А. Климович, М.В. Козлов // Материалы Международной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 17–21 марта 2014 г.). Сыктывкар. – 2014. – С. 270-274.

219. Шубина, А.Г. Содержание тяжелых металлов, мышьяка и радионуклидов в почве ряда районов Тамбовской области / А.Г. Шубина, С.Е. Синютина, Т.С. Лавринова // Вестник ТГУ. – 2009. – Т. 14. – Вып. 1. – С. 85–88.

220. Шубина, О.А. Результаты паспортизации сельскохозяйственных предприятий Гордеевского, Злынковского и Красногорского районов Брянской области, расположенных на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС / О.А. Шубина, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, В.В. Володин // Евразийский научный журнал.– 2016. – № 8. – С. 387-394.

221. Шубина, О.А. Итоги комплексной паспортизации сельскохозяйственных угодий Брянской области, загрязненных радионуклидами / О.А. Шубина, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, С.И. Санжарова // Агрохимический вестник. – 2017. – № 3. – С. 35-39.

222. Щур, А.В. Особенности перехода радионуклидов в хозяйственно-ценную растительность / А.В. Щур, В.П. Валько // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – Вып. № 2. – С. 53-59.

223. Экологический риск: Учебное пособие / Сынзыныс Б.И., Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Пяткова С.В., Момот О.А., Лаврентьева Г.В., Удалова А.А.; Под общ. ред. А.А. Удаловой и Б.И. Сынзыныса. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. – 67 с.

224. Энциклопедия клинических лабораторных тестов под редакцией Н.Тица. М., 1997. – 960с.

225. Яблоков А.В. Миф о безопасности малых доз радиации: Атомная мифология. – М.: Центр экологической политики России, ООО «Проект-Ф» – 2002. – 145с.

226. Absalom, J.P. Predicting the transfer of radiocaesium from organic soils to plants using soil characteristics / J.P. Absalom, S.D.Young, N.M. Crout, J. A. Sanchez, S.M.Wright, E. Smolders, A.F. Nisbet, A.G. Gillett // Journal Environmental Radioactivty – 2001 – 52. – PP. 31-43.

227. Alesina, M.U. The formation of radio biological effects under chronic internal and external radiation in low doses of experimental animals / M.U. Alesina // International magazine of radiation medicine. – 1999. – T. 2. – PP. 92-99.

228. Beaugelin-Seiller K. E.D.E.N.: A tool for the estimation of dose coefficients for non-human biota / K. Beaugelin-Seiller, J. Garnier-Laplace, J. C. Gariel, F. Jasserand // Radioprotection. – 2005, vol. 40, no. 1. – PP. 921-926.

229. Balonov, M. Harmonisation of standards for permissible radionuclide activity concentrations in foodstuffs in the long term after the Chernobyl accident / M. Balonov, V/ Kashparov , A/ Nikolaenko, V. Berkovskyy, S. Fesenko // Journal of Radiological Protection. – 2018. – T. 38 (2). – PP. 854-867. DOI: 10.1088/1361-6498/aabe34.

230. Bolsunovsk, A. The long-term effects of y-radiation on the growth of allium cera plants / A. Bolsunovsk E. Trofimova, D. Demenyev, M. Petrichenkov // International journal of radiation biologi. – 2021. – T.97 №2 – PP. 276-281. DOI: 10.1080/09553002.2021.1844337.

231. Braga-Tanaka, I 3rd. Experimental studies on the biological effects of chronic low dose-rate radiation exposure in mice: overview of the studies at the Institute for Environmental Sciences. / I 3rd Braga-Tanaka, S. Tanaka, A. Kohda, D. Takai, S. Nakamura, T. Ono, K. Tanaka, J.I. Komura // Int J Radiat Biol. – 2018 – May. 94(5) – PP.423-433. DOI: 10.1080/09553002.2018.1451048. Epub 2018 Apr 3. PMID: 29533133.

232. Calabrese, E.J. The frequency of Ushaped dose responses in the toxicological literature / E.J. Calabrese, L.F. Baldwin // Toxicol. sci. – 2001. – Tl .62. – № 1. – PP. 330-338.

233. Brennera, D.J. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation / D.J. Brennera, B.R. Dollc, D.T. Goodheadd, E.J. Halla, C.E. Lande, J.B.

Littlef, J.H. Lubing, D.L. Prestonh, R.J. Prestoni, J.S. Puskinj, E.R. Rainer, J.M. Sametl, R.B. Setlowm, and M. Zaidern // Assessing what we really know. – PNAS November 25. – 2003. Vol. 100 no. 24 – PP.13761-13766. doi DOI:10.1073/pnas.2235592.

234. Devic, C. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein / C. Devic C // Dose-Response. – 2018. – Vol. 16. – No. 3. – PP. DOI: 10.1177/1559325818789836.

235. Doss M. Are we approaching the end of the linear no-threshold era? J Nucl Med – 2018; 59:1786-93. DOI: 10.2967/jnumed.118.217182.

236. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation. ICRP Publication 136. – 2017. Ann. ICRP 46.

237. Eckert, D. ROS- and Radiation Source-Dependent Modulation of Leukocyte Adhesion to Primary Microvascular Endothelial Cells. / D. Eckert, F. Rapp, A.T. Tsedeke, J. Molendowska, R. Lehn, M. Langhans, C. Fournier, F. Rödel, S. Hehlgans // Cells – 2021 Dec 27;11(1) – PP.72. DOI:10.3390.

238. Elroei, David. Background radiation impacts human longevity and cancer mortality: Reconsidering the linear no-threshold paradigm / David Elroei, Marina Wolfson, Vadim E. Fraifeld // Biogerontology – 2019. November 6, – PP. 1-16. DOI: 10.1007/s10522-020-09909-4.

239. Ernest, L. Global climate change and cameroo,s agriculture. / L.Ernest Molua // CUVILLIER VERLAG – 2003. – 200p.

240. Ehlken, S.Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review / Ehlken, S., & Kirchner, G. // Journal of Environmental Radioactivity 58. – 2002. – PP 97-112. DOI: 10.1016/S0265-931X(01)00060-1.

241. Fesenko, S. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: biological half-lives // S. Fesenko, N. Isamov, C.L. Barnett, N.A. Beresford, B.J. Howard, N. Sanzharova, E. Fesenko / Journal of

Environmental Radioactivity. – 2015. – № 142. – PP. 136-151. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2015.01.015.

242. Fesenko, S. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: Transfer to animal tissues / S. Fesenko, N. Isamov, B.J. Howard, N. Sanzharova, C. Wells // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – T. 192. – PP. 233-249. DOI:10.1016/j.jenvrad.2018.06.012.

243. Geras'kin, S.A. Ecological effects of exposure to enhanced levels of ionizing radiation / S.A. Geras'kin // J. Environ. Radioactivity. – 2016. – V. 162-163. – PP. 347-357. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.06.012.

244. Golikov, V.YU. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobylaccident / V.YU. Golikov // Radiation hygiene – 2018. – Vol 11 № 4 – PP. 39-50. DOI: 10.21514 / 1998-426X-2018-11-4-39-50.

245. Glorieux, C. Catalase, a remarkable enzyme: Targeting the oldest antioxidant enzyme to find a new cancer treatment approach. / C. Glorieux, P.B. Calderon // Biol. Chem. – 2017; 398: – PP. 1095-1108. DOI: 10.1515/hsz-2017-0131.

246. Gubareva, O.S. Radiological effectiveness of the use of Prussian Blue in combination with mixed cattle feed in livestock farms in the south-west rayons of the Bryansk oblast / O.S. Gubareva, N.N. Isamov, P.N.Tsygvintsev, E.I.Ryasna, E.N. Aleshkina /// Radiation and Risk. – 2017. – T.26 (1). – PP. 89-99. DOI:10.21870/0131-3878-2017-26-1-89-99.

247. Hirano, S.I. Molecular hydrogen as a potential clinically applicable radioprotective agent. / S.I. Hirano, Y. Ichikawa, B. Sato, H. Yamamoto, Y. Takefuji, F.Satoh // Mol Sci. – 2021 Apr 27; – 22(9):4566. DOI:10.3390/ijms22094566. PMID: 33925430; PMCID: PMC8123813.

248. Howard, B.J. The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife / B.J. Howard, N.A. Beresford, D. Copplestone, et al. // J. Environ. Radioact. – 2013, – Vol. 121. – PP. 55–74.

249. ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).

250. Jargin. S.V. Hormesis and radiation safety norms: Comments for an update. / S.V. Jargin // Hum Exp Toxicol. – 2018 – 37(11) PP:1233-1243. DOI: 10.1177/0960327118765332.

251. Jargin, S.V. Radiation Safety and Hormesis / S.V Jargin // Front. Public Health. – 24 July 2020 – Vol. 8 – PP. Aric. 278. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00278

252. Kalkana, S. K. Deposition of ^{137}Cs and precipitation distribution in Vojvodina, Northern Serbia after the Chernobyl accident / S. K. Kalkana, S. Forkapić, B.S. Marković, B.M. Gavrilov, K. Bikit-Schroeder, D. Mrđa, G.M. Radaković, R.Tošić // Chemosphere – 2021. – Vol. 264, Part 2, February. – 128471. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128471.

253. Kam, W.W. Effects of ionizing radiation on mitochondria. / W.W. Kam, R.B. Banati // Free Radic. Biol. Med. – 2013 – 65 PP: 607-619. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2013.07.024.

254. Karpenko, E.I.Evaluation of the effect of radiation on the biota within the regions of the Leningradskaya and Beloyarskaya NPPS / E.I. Karpenko, S.I. Spiridonov, V.E. Kurtmulaeva, N.I. Sanzharova, A.V. Panov, P.N. Tsygvintsev // Atomic Energy. – 2016. Vol. 119. № 3. – PP. 213-217. DOI: 10.1007/s10512-015-0049-8.

255. Kataoka, T. Study of antioxidative effects and anti-inflammatory effects in mice due to low-dose X-irradiation or radon inhalation / T. Kataoka // Journal of Radiation Research. – 2013. – T.54. – PP.587-596.

256. Keiji, Suzuki. Molecular and cellular basis of the dose-rate-dependent adverse effects of radiation exposure in animal models. Part I: Mammary gland and digestive tract/ / Suzuki Keiji, Imaoka Tatsuhiko, Tomita Masanori, Sasatani Megumi, Doi Kazutaka, Tanaka Satoshi, Kai Michiaki, Yamada Yutaka, Kakinuma Shizuko //Journal of Radiation Research. – March 2023– Vol.64, – PP. 210-227, DOI: 10.1093/jrr/rrad002.

257. Kim, W. Cellular stress responses in radiotherapy. / W. Kim, S. Lee, D. Seo, D. Kim, K. Kim, E. Kim, J. Kang, K.M. Seong, H. Youn, B. Youn // Cells. –

2019 Sep – 18;8(9):1105. DOI: 10.3390/cells8091105. PMID: 31540530; PMCID: PMC6769573.

258. Kuttler, J.M. Evidence that low lifetime dose rates of ionizing radiation increase lifespan in long-lived and short-lived dogs. / J.M. Kuttler, L.E. Feinendegen, Y. Sokol //Dose-response. – 2017.– 15(1)– PP:1-6.

259. Large, M. Study of the antiin flammatory effects of low-dose radiation: the contribution of biphasic regulastion of the antioxidative system in endothelial cells / M. Large, S. Hehlgans, U. Reichert et al. // Strahlenher Oncol. – 2015. – V. 191. – PP. 742–749. DOI: 10.1007/s00066-015-0848-9.

260. Leach, J.K. Ionizing radiation-induced, mitochondria-dependent generation of reactive oxygen/nitrogen. / J.K. Leach, G. van Tuyle, P.S. Lin, R. Schmidt-Ullrich, R.B. Mikkelsen // Cancer Res. – 2001; – 61 – PP:3894–3901.

261. Mikailova, R.A. Estimation and prediction of the population irradiation dose in the vicinity of npp with VVER-1200 / R.A. Mikailova, V.E. Nushtaeva, S.I. Spiridonov, E.I. Karpenko, V.V. Krechetnikov //Atomic Energy. – 2019. – T. 127. № 1. – PP. 56-59.

262. Modeling radiation exposure and radionuclide transfer for non-human species / Report of the Biota Working Group of EMRAS. Theme 3. Viena: IAEA, – 2010. – 244 p.

263. Morimoto, M. The Effect of Radiation on the Immune System in Pigs Affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. In: Fukumoto, M. (eds) Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems. / M. Morimoto, et al. //Springer, Singapore. – 2020. – PP 139-151. DOI: 10.1007/978-981-13-8218-5_11.

264. Noga, T. Ecological assessment of the San River water quality on the area of the San Valley lands capepark. / T. Noga, J. Stanek-Tarkowska, A. Pajączek, N. Kochman, Ł.Peszek // Journal of Ecological Engineering 15, – 2014.– PP. 12-22. DOI: 10.12911/229989922998993.1125453.

265. Norio, Takahashi. Association between low doses of ionizing radiation,administered acutely or chronically, and time to onset of stroke in a rat

model. / Takahashi Norio, Misumi Munechika, Murakami Hideko, Niwa Yasuharu, Ohishi Waka, Inaba Toshiya, Nagamachi Akiko and Suzuki Gen //Journal of Radiation Research – 2020.– Vol. 61, No. 5. – PP 666–673 DOI: 10.1093/jrr/rraa050.

266. Obrador, E. Nuclear and Radiological Emergencies: Biological Effects, Countermeasures and Biodosimetry. / E. Obrador, R. Salvador-Palmer, J.I. Villaescusa, E. Gallego, B. Pellicer, J.M. Estrela, A. Montoro //Antioxidants (Basel). – 2022 May 31;11(6):1098. DOI: 10.3390/antiox11061098. PMID: 35739995; PMCID: PMC9219873.

267. Panov, A.V. Contamination of agricultural lands in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions with ^{137}Cs as a result of the Chernobyl accident: Current status and prognosis / A.V. Panov, N.I. Sanzharova, O.A. Shubina, E.B. Gordienko, I.E. Titov // Radiation and Risk. – 2017. – T.26 (3). – PP. 66-74.

268. Perevolotskaya, T.V. Methods of calculating the γ-radiation absorbed dose rate in case of radioactive contamination of meadow biogeocenoses / T.V. Perevolotskaya, A.N. Perevolotskii, Y.A. Kurachenko // Atomic Energy. – 2020. – T. 128. № 2. – PP. 104-114. DOI: 10.1007/s10512-020-00658-8.

269. Ostoich, Peter. Radionuclide Contamination as a Risk Factor in Terrestrial Ecosystems: Occurrence, Biological Risk, and Strategies for Remediation and Detoxification. / Peter Ostoich, Michaela Beltcheva, Jose Antonio Heredia Rojas and Roumiana Metcheva // The Toxicity of Environmental Pollutants. – 2022 – PP. 1-7. DOI: 10.5772/intechopen.104468.

270. Polikarpov, G.G. The future of radioecology: in partnership with chemo-ecology and ecoethics / G.G. Polikarpov // Journal of Environmental Radioactivity, 2001. – Vol 53. – PP. 5-8.

271. Prohl, G. Modeling of radionuclide transfer in food chains after deposition of Strontium-90, Cesium-137, and Iodine-131 onto agricultural areas. / G. Prohl //Munchen – Neuherberberg, Germany: GSF – Fofschungszentrum; GSF-Report EUR-12553:1990a: 289-309.

272. Protection of non-human biota from ionizing radiation. Advisory committee on radiation protection of the canadian nuclear safety commission (CNSC), INFO-0730. Ottawa, ON, – 2002. – 30p.

273. Rigol, A. An overview of the effect of organic matter on soil-radiocaesium interacrion: implicationis in root uptake. / A. Rigol, M. Vidal, G. Rauret // Journal of Environmental Radioactivity 59. – 2001. – PP.191-216c.

274. Sandalls, S. Radiocaesium in upland herbage in Cumbria, UK: a three year field stuby. / S. Sandalls & L. Bennet // Journal of Environmental Radioactivity, 16. – 1992. – PP.147-165.

275. Sanzharova, N.I. Remediation of Agricultural Lands Contaminated by ^{90}Sr / N.I. Sanzharova, I.V. Geshel, R.A. Mikailova, D.V. Krylenkin, E.V. Gordienko // Remediation measures for radioactively contaminated Areas; edited Drs. D. K. Gupta and A. Voronina. Springer, Cham. – 2018. – PP. 139-162. DOI:10.1007/978-3-319-73398-2_7.

276. Simon, S.L. Uptake of ^{40}K and ^{137}Cs in native plants of the Marshall Islands / S.L. Simon, J.C. Graham, S.D. Terp // Journal of Environmental Radioactivity 59. – 2002. – PP:223-243.

277. Shibamoto, Y. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis / Y. Shibamoto, H. Nakamura // International journal of molecular sciences. – 2018. – Vol. 19. – No. 8. – P. 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.

278. Shin, E. Organ-Specific Effects of Low Dose Radiation Exposure: A Comprehensive Review. / E. Shin, S. Lee, H. Kang, J. Kim, K. Kim, H. Youn, Y.W. Jin, S. Seo and B. Youn // Front. Genet. – 2020. 11:566244. DOI: 10.3389/fgene.2020.566244.

279. Shevchenko, T.S. A study of the optical properties of peripheral blood neutrophils of horses exposed to total external γ-radiation / T.S. Shevchenko // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya. 2017. T.52 (4). PP. 795-802.

280. Shimura, N. The lowest radiation dose having molecular changes in the living body / N. Shimura, S. Kojima // Dose Resp. – 2018. – V. 16. № 2. – PP. 1-7. DOI: 10.1177 / 1559325818777326.

281. Seed, T.M. Accommodative responses to chronic exposure: dose effects, dose rates, and pharmacological response modifiers. / T.M. Seed, C. Inal, M.E. Dobson et al. //Mil Med. – 2002; – 167 (2 appendices) – PP: 82-86.

282. Tatiana, G. Population sensitivities of animals to chronic ionizing radiation-model predictions from mice to elephant. / G Tatiana. Sazykina. // Journal of Environmental Radioactivity – 2018. – Volume 182. – Pages 177-182, ISSN 0265-931X. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.11.013.

283. Tulard, A. Persistent oxidative stress after ionizing radiation is involved in inherited radiosensitivity. / A. Tulard, F. Hoffschir, de F.H. Boisferon, C. Luccioni, A. Bravard //Free Radic. Biol. Med. – 2003. – 35 – PP. 68-77. DOI: 10.1016/S0891-5849(03)00243-0.

284. US DOE, 1998. U.S. Department of Energy. Radiological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Aquatic Biota at Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, July 1998. – P.25.

285. Vaiserman, A. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. / A. Vaiserman, J.M. Cuttler, Y. Socol // Biogerontology. – 2021; 22(2) PP. 145-164. DOI: 10.1007/s10 522-020-09908-5.

286. Vaiserman, A. Hormesis through lowdose radiation / A. Vaiserman, A. Koliada, Y. Socol // The science of hormesis in health and longevity. Eds S.I.S. Rattan, M. Kyriazis. L.: Academic Press – 2019. – PP. 129-138.

287. Vladimirov, Yu.A. Free radicals and cell chemiluminiscence / Yu. A. Vladimirov, E.V. Proskurnina Vladimirov U.A., Proscurnina E.V. // Biochemistry (Moscow). – 2009. – T. 74. – № 13. – PP. 1545-1566. DOI: 10.1134/s0006297909130082.

288. Yadav, N. S. Ecological health assessment of Chambal River, India / N. S. Yadav, M. P. Sharma, A. Kumar, // Journal of Material and Environmental Science – 2015. – 6(3). – PP. 613-618.

289. Yu, C. User's Manual for RESRAD-OFFSITE Version 2, ANL/EVS/TM/07-1 / C. Yu, et al., // Argonne National Laboratory, Argonne – 2007.

290. Yang, G. Distinct biological effects of low dose radiation on normal and cancerous human lung cells are mediated by ATM signaling / G. Yang, D. Yu, W. Li et al. // Oncotarget. – 2016a. – Vol. 7. № 44. – PP. 71856-71872. DOI: 10.18632/oncotarget.12379.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

Международной научной конференции
профессорско-преподавательского состава,
посвященной 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева
4-6 декабря 2018 г.

Выдан

Федотовой Арине Сергеевне

за доклад на тему

Удельная активность ^{137}Cs
в компонентах агробиоценоза Красноярска

на секции

ЭКОЛОГИЯ И АГРОЭКОЛОГИЯ

Декан факультета
почвоведения,
агрохимии и экологии

Факультет почвоведения, агрохимии и экологии

Б.А. Борисов

Москва

Certificate

Science & Technology City Hall

Krasnoyarsk

this is to certify that

A S Fedotova, E G Turitsyna, G V Makarskaya, S V Tarskikh

participated in the International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies - AGRITECH-2019 in June 20-22, 2019 in Krasnoyarsk, Russia.

The research paper «Kinetics of formation of reactive oxygen species by blood cells when exposed to ultra-low doses of ionizing radiation» has been reviewed by the Editorial Board, accepted to the Conference Proceedings and sent to IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) for further publishing.

Igor Kovalev
Scientific supervisor of
«AGRITECH-2019»
Doctor of Technical Sciences,
Professor

II INTERNATIONAL CONFERENCE AGRITECH-II - 2019: AGRIBUSINESS, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND BIOTECHNOLOGIES

Science and Technology City Hall
KRASNOYARSK, RUSSIA

CERTIFICATE

this is to certify that

A S Fedotova, G V Makarskaya, S V Tarskikh, E G Turitcyna, V A Kolesnikov

participated in the II International Conference "AGRITECH-II - 2019: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies" in November 20, 2019 in Krasnoyarsk, Russia.

The research paper **«An impact of low doses radiation on the kinetics of reactive oxygen species generation in sheep peripheral blood»** has been reviewed by the Editorial Board, accepted to the Conference Proceedings and sent to IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences (EES) for further publishing.

Igor Kovalev
Scientific supervisor of
«AGRITECH-II - 2019»
Doctor of Technical Sciences,
Professor

50 1970-2020 лет
ФГБНУ ВНИИРАЭ

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

Международной научно-практической конференции

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

(к 50-летию со дня образования ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии)

НАСТОЯЩИЙ СЕРТИФИКАТ ПОДТВЕРЖДАЕТ, ЧТО

ФЕДОТОВА АРИНА СЕРГЕЕВНА

ВЫСТУПИЛА С УСТНЫМ ДОКЛАДОМ

КИНЕТИКА ГЕНЕРАЦИИ СВОБОДНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ «IN VITRO» МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Председатель организационного комитета
Директор ФГБНУ ВНИИРАЭ,
член-кор. РАН, проф., д.б.н.
САНЖАРОВА Н.И.

ВНИИРАЭ

16–18 сентября 2020
Обнинск

Южно-Уральский
государственный аграрный университет

Сертификат

участника конференции

ФЕДОТОВА
АРИНА СЕРГЕЕВНА

принимала участие в работе
НАЦИОНАЛЬНОЙ (ВСЕРОССИЙСКОЙ) НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«СОВРЕМЕННАЯ АГРАРНАЯ НАУКА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»,
секция 6,
24–26 февраля 2021 года,
ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ

Ректор Черепухина С.В.

Троицк
2021

СЕРТИФИКАТ

Данный сертификат подтверждает, что

Федотова Арина Сергеевна

принял (а) участие во Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики», проходившей на базе ФГБОУ ВО Омский ГАУ 22-26 марта 2021 года

Проректор по научной работе Ю.И. Новиков

Омск, 2021

КНЦ СО РАН

SETAC RUS

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

Настоящий сертификат подтверждает, что

Арина Сергеевна Федотова

приняла участие в работе

XX Международного симпозиума «Сложные системы в экстремальных условиях»,

который состоялся 20-24 сентября 2021 г. в Красноярске

Председатель оргкомитета, академик В.Ф. Шабанов

http://symposium.kirensky.ru

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СЕРТИФИКАТ

Участника
Настоящим подтверждается, что

Федотова Арина Сергеевна

приняла участие в Международной научно-практической конференции
«От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности
и научного лидерства АПК»
24-25 марта 2022 года

Ректор О.Г. Лоретц

УрГАУ

СЕРТИФИКАТ

Федотова Арина Сергеевна

принял(а) участие в работе IV Международной научно-практической конференции
«АГРАРНАЯ НАУКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАЗВИТИИ
СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ»

(г. Луганск, 17 января - 08 февраля 2023)

с докладом на тему: “Активные формы кислорода в периферической крови крупного рогатого скота при облучении «in vitro» и «in vivo» в дозе 1,6 мгр”

Проректор по научной работе А.В. Худолей

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент ветеринарии
ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

СЕРТИФИКАТ

участника

Данный сертификат подтверждает, что

Федотова Арина Сергеевна

принял(ла) участие в работе 3-ей Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиобиологии, агроэкологии и радиационных технологий в АПК» посвящённой 95-летию со дня рождения профессора В.А. Киршина

12 октября 2023 г.

г. Казань

Врио директора
ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» ***Мингалеев Д.Н.***

Казань, 2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий
Российской академии наук
(СФНЦА РАН)
р.п. Краснообск Новосибирского района Новосибирской области, 630501
Тел/факс 8(383) 348-46-36 e-mail: office@sfsca.ru; www.sfsca.ru;
ОКПО 00024348; ОГРН 1025404349992; ИНН/КПП 5433107641/543301001

«04» июля 2023 № 1306

АКТ

о внедрении научных разработок Федотовой А.С.
кандидата биологических наук, доцента кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научно-практические рекомендации «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края», разработанные кандидатом биологически наук, доцентом Федотовой А.С. используются в работе лаборатории биотехнологии-диагностический центр Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (ИЭВСиДВ) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН) при проведении радиоэкологического мониторинга агробиоценозов.

Данные рекомендации позволяют облегчить расчет поглощенных доз, при расчете выделить вклад внешнего облучения в светлое время суток, и предлагают следующие методике подходы к расчету поглощенных доз для крупного рогатого скота.

В рекомендациях Федотовой А.С. содержатся необходимые справочные материалы, облегчающий процесс расчета без использования дополнительных информационных источников.

И.о. директора СФНЦА РАН К.Ю. Кириченко
«04» июля 2023 г.

ШАПОВАЛОВ Д.В.
04.07.23

Бюджетное учреждение Республики Алтай «Республиканская ветеринарная лаборатория»
649002, Республика Алтай,
г. Горно-Алтайск,
пр. Коммунистическим, 171
телефон: 6-43-63
факс. (38822)6-43-65
E-mail: resvetlab04@mail.ru

Алтай Республиканын «Республикан ветеринарлык лаборатория» деп бюджет учреждениези
649002. Алтай Республика,
Горно-Алтайск кала,
пр. Коммунистический, 171
телефоны: 6-43-63
факсы: (38822)6-43-65
E-mail: resvetlab04@mail.ru

12.07.2023 Исх.№ 293/01-22

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

научно-практических рекомендаций «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края» кандидата биологических наук доцента кафедры доцента кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» Федотовой Арины Сергеевны

Целью научно-практических рекомендаций является изложение пошаговой методики расчета доз облучения сельскохозяйственных животных с учетом особенностей техногенной радиационной загрязненности территории.

В научно-практических рекомендациях приведена методика расчета годовой поглощенной дозы облучения для сельскохозяйственных животных с учетом требований ветеринарных правил обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения ВП 13.73.13/12-00.

В работе бюджетного учреждения Республики Алтай «Республиканская ветеринарная лаборатория» с 2023 года используются научные разработки Федотовой А.С. Рекомендации упрощают расчет годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных.

В рекомендациях расчет годовой поглощенной дозы предлагается проводить с учетом радиоэкологической обстановки территории. Согласно, рекомендаций следует вести расчет внешнего и внутреннего облучения с учетом времени нахождения животных на пастбищных участках и в животноводческих помещениях, так как в зависимости от времени года эти значения различны, что отражается на значении годовой поглощенной дозе облучения. Для облегчения процесса расчета приведены цифровые данные: время стойлового и пастбищного содержания животных, процентный вес костной ткани в зависимости от массы животного и перечень необходимых данных для расчета годовой поглощенной дозы.

Директор
бюджетного учреждения
Республики Алтай «Республиканская
ветеринарная лаборатория» Ч.С. Бугочакова

Роскартография

Акционерное общество
«Научно-исследовательский и производственный центр «Природа»
(АО «НИиП центр «Природа»)
Красноярский филиал
ИНН/КПП 7720765670/246643001, ОКПО 02571296,
ОГРН 1127747127463

✉ ул. Ленина, д.41, г. Красноярск, 660049, а/я 25454
☎ (391) 227-73-55, fax: 265-26-27, goscenter.pr@mail.ru

05.07.2023 г. Красноярск

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

научно-практических рекомендаций «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края» кандидата биологических наук доцента кафедры доцента кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» Федотовой Арины Сергеевны

В научно-практических рекомендациях отражена радиоэкологическая специфика Красноярского края, сформулирована методика расчета годовой поглощенной дозы облучения для сельскохозяйственных животных с учетом требований ветеринарных правил обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения ВП 13.73.13/12-00.

Задачей научно-практических рекомендаций является изложение пошаговой методики расчета доз облучения крупного рогатого скота с учетом характеристики техногенной радиационной загрязненности районов Красноярского края.

В работе Красноярского филиала АО «НИиП центр «Природа» с 2022 года используются научные разработки Федотовой А.С. Рекомендациях расчет годовой поглощенной дозы предлагается проводить с учетом удельной активности изотопов ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs в кормах. Рекомендации учитывают радиоэкологические особенности Красноярского края, упрощают расчет годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных.

Директор Д.В. Варфоломеев

Российская Федерация
Красноярский край, ЗАТО г. Железногорск
Краевое государственное казенное учреждение
«Железногорский отдел ветеринарии»
ИНН/КПП 2452008697/245201001.
662973, Красноярский край, ЗАТО г. Железногорск, ул. Челюскинцев, 22
полное наименование организации

г. Железногорск

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

научно-практических рекомендаций «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края» кандидата биологических наук доцента кафедры доцента кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» Федотовой Арины Сергеевны

Главной задачей научно-практических рекомендаций является изложение пошаговой методики расчета доз облучения крупного рогатого скота с учетом характеристики техногенной радиационной загрязненности районов Красноярского края.

В научно-практических рекомендациях отражена радиоэкологическая специфика Красноярского края, приведена методика расчета доз облучения согласно ВП 13.73.13/12-00. Сформулирована методика расчета годовой поглощенной дозы облучения для сельскохозяйственных животных с учетом требований ветеринарных правил обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения ВП 13.73.13/12-00.

В работе КГКУ Железногорский отдел ветеринарии с 2022 года используются научные разработки Федотовой А.С. Рекомендации учитывают радиоэкологические особенности Красноярского края, упрощают расчет годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных.

Рекомендациях расчет годовой поглощенной дозы предлагается проводить с учетом удельной активности изотопов ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs в кормах.

Начальник КГКУ «Железногорский отдел ветеринарии» г. Железногорск, ул. Челюскинцев д.22 _____ В.Н. Князев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
Краевое государственное казенное учреждение
«Краевая ветеринарная лаборатория»
(КГКУ «Краевая ветеринарная лаборатория»)
Дудинская ул., д. 5г, Красноярск, 660020
Тел. (391)220-12-87, 220-13-00
Тел./факс 220-12-87
E-mail: vetlab08@yandex.ru
ОКПО 74864650 ОГРН 1042402649453
ИНН/КПП 2465083660/246501001

09.10.2023 № 228

На № _____ от_____

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

научно-практических рекомендаций «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края» кандидата биологических наук доцента кафедры доцента кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» Федотовой Арины Сергеевны

Основной целью научно-практических рекомендаций является изложение пошаговой методики расчета доз облучения сельскохозяйственных животных с учетом особенностей техногенной радиационной загрязненности районов Красноярского края.

В научно-практических рекомендациях отражены радиоэкологические особенности Красноярского края, приведена методика расчета доз облучения. Сформулирована методика расчета годовой поглощенной дозы облучения для сельскохозяйственных животных с учетом требований ветеринарных правил обеспечения радиационной безопасности животных и продукции животного происхождения ВП 13.73.13/12-00.

Сотрудники радиологического отдела КГКУ Краевая ветеринарная лаборатория» в 2022 году ознакомились с научными разработками Федотовой А.С., произвели пробные расчеты, согласно рекомендаций. В случае необходимости данные научно-практические рекомендации могут быть использованы в работе радиологического отдела. Рекомендации

учитывают радиоэкологические особенности Красноярского края, упрощают расчет годовой поглощенной дозы облучения сельскохозяйственных животных.

В рекомендациях расчет годовой поглощенной дозы предлагается проводить с учетом удельной активности изотопов ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs в кормах. Согласно, рекомендаций следует вести расчет внешнего и внутреннего облучения с учетом времени нахождения животных на пастбищных участках и в животноводческих помещениях, так как в зависимости от времени года эти значения различны, что отражается на значении годовой поглощенной дозе облучения. Для облегчения процесса расчета приведены цифровые данные: время стойлового и пастбищного содержания животных, процентный вес костной ткани в зависимости от массы животного и перечень необходимых данных для расчета годовой поглощенной дозы

И.о. директора КГКУ «Краевая ветеринарная лаборатория» г. Красноярск _____ Л.Н. Курочкина

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»
(ФГБОУ ВО Омский ГАУ)**
Ул. Институтская площадь, 1, Омск, 644008
тел. (3812) 65-11-46, факс (3812) 65-17-35
E-mail: adm @omgau.ru
www. omgau.ru
14.07.2023 №041170/6194

« У т в е р ж д а ю »
Проректор по образовательной
деятельности ФГБОУ ВО Омский ГАУ
С.Ю. Комарова
_____
« 11 » 07 2023 г.

Карта обратной связи

Результаты научных исследований Федотовой Арины Сергеевны на тему: «Эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения на агробиоценозы Красноярского края» используются в учебном процессе и научных исследованиях кафедры диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Результаты исследований применяются при подготовке студентов, обучающихся по специальности 36.05.01 «Ветеринария» в рамках дисциплины «Ветеринарная радиобиология».

Материалы рассмотрены на заседании кафедры диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства, протокол № 9 «09» июня 2023 г.

Заведующая кафедрой диагностики, внутренних незаразных болезней, фармакологии, хирургии и акушерства, д-р ветеринар. наук, доцент _____ Бойко Татьяна Владимировна

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Горно-Алтайский государственный университет»

«Утверждаю»
Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО Горно-Алтайский
государственный университет
к.б.н., доцент
Т.К. Куриленко
_____
«07» _____ 20__ г.

Карта обратной связи

Результаты научных исследований Федотовой Арины Сергеевны на тему: «Радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения на агробиоценозы Красноярского края» используются в учебном процессе и научных исследованиях кафедры «Агротехнологий и ветеринарной медицины» физико-математического и инженерно-технологического института ФГБОУ ВО Горно-Алтайский государственный университет. Результаты исследований применяются при подготовке студентов по специальности 36.05.01 «Ветеринария» по дисциплине по дисциплине «Ветеринарная радиобиология».

Материалы рассмотрены на заседании
кафедры «Агротехнологий и
ветеринарной медицины»
« 22» 06 2023г., протокол № 11

Заведующий кафедрой
«Агротехнологий и
ветеринарной медицины»
канд. биол. наук, доцент _____ /Шатрубова Екатерина
Владимировна/

«Утверждаю»
Проректор по учебно-воспитательной работе и молодежной политике
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ
канд.тех.наук В.Г. Крымкова
_____
«14» 02 20 23 г.

Карта обратной связи

Результаты научных исследований Федотовой Арины Сергеевны на тему: «Эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения на агробиоценозы Красноярского края» используются в учебном процессе и научных исследованиях кафедры «Внутренние незаразные болезни, акушерство и физиология с.-х. животных» института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ.

Результаты исследований применяются при подготовке студентов специальности 36.05.01 «Ветеринария» по дисциплине «Ветеринарная радиобиология», по направлениям подготовки 36.03.02 «Зоотехния» и 35.03.07 «Технология производства и переработки продукции животноводства» по дисциплине «Радиобиология с основами радиационной гигиены» и направлению 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза» по дисциплине «Радиобиология».

Материалы рассмотрены на заседании кафедры ВНБ, акушерства и физиологии с.-х. животных «13» 02 2023г., протокол № 6

Заведующий кафедрой«ВНБ, акушерства и физиологии с.-х. животных» д-р. биол. наук, профессор _____ /Смолин Сергей Григорьевич