

## УТВЕРЖДАЮ:

Ректор Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский  
государственный университет  
ветеринарной медицины»

  
К.В. Племяшов  
« 08 » апреля 2024 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Федотовой Арины Сергеевны на тему «Эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения на агробиоценозы Красноярского края», представленную в диссертационный совет Д 35.2.038.01 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 4.2.2. – Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки).

**Актуальность темы.** 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 весомых факторов, отрицательно действующих на организм животных и человека. Изучение миграционной активности техногенных радионуклидов привлекает внимание многих исследователей и является важным направлением деятельности научно-исследовательских учреждений и органов государственной власти. В настоящее время изучено состояние радиационной обстановки на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате радиационных аварий. На территориях с дополнительным радиоактивным загрязнением биота испытывает радиационное воздействие в малых дозах, существуют работы по оценке степени их влияния на состояние биологических объектов.

Красноярский край относится к регионам с напряженной радиационной ситуацией, в центральных районах края существует очаговое, точечное загрязнение поймы р. Енисей антропогенными радионуклидами, сформированное в результате деятельности ФГУП «Горно-химический комбинат».

В последние годы принципиально изменились представления о реакциях организма на действие ионизирующего излучения в малых дозах. В отличие 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, приводит к изменению гомеостаза. В научной литературе недостаточно данных, комплексно оценивающих влияние ионизирующего излучения в диапазоне малых доз на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных. Актуальным является определение эколого-радиобиологической оценки субклинических доз радиации на компоненты агробиocenозов в регионах с локальным техногенным загрязнением.

**Научная новизна исследований.** Впервые выполнена дифференцировка аграрных ландшафтов Красноярского края по техногенному радиоактивному загрязнению. Выявлено дополнительное антропогенное радиоактивное загрязнение звеньев трофической цепи аграрных ландшафтов, принадлежащих зоне наблюдения ФГУП «Горно-химический комбинат». Представлен комплекс количественных данных о структурных изменениях и функциональной активности клеток периферической крови продуктивных животных при действии малых доз радиации. Определена высокая чувствительность хемилюминесцентного метода в оценке радиобиологических эффектов в периферической крови при действии субклинических доз. Определены закономерности динамики гематологических, биохимических, хемилюминесцентных показателей крови

при воздействии субклинических доз радиации «*in vivo*» и «*in vitro*». Впервые предложен «интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов» как маркер радиационной опасности аграрных ландшафтов.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что определено влияние ФГУП «Горно-химический комбинат» на радиационную безопасность компонентов аграрных ландшафтов Красноярского края. Предложены уравнения линейной регрессии, позволяющие прогнозировать удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в кормах и продукции животноводства. Установлена радиационная безопасность агропродукции агробиоценозов, имеющих дополнительную техногенную нагрузку.

Установленные радиобиологические эффекты в периферической крови при субклинических дозах радиации значительно расширяют существующие представления о действии малых доз ионизирующего излучения на организм сельскохозяйственных животных. Обоснован и предложен хемилюминесцентный метод в качестве чувствительного маркера радиационно-индуцированных повреждений клеток периферической крови. Разработаны научно-практические рекомендации «Расчет доз облучения сельскохозяйственных животных в условиях Красноярского края», рекомендованные к изданию Министерством экологии и рационального природопользования Красноярского края (протокол № 21 от 14.12.2021).

Результаты диссертационной работы 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 научных 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.

Материалы 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».

Научно-исследовательская работа выполнялась в рамках реализации следующих проектов:

1. РФФИ проект 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»;
2. РНФ и ККФН проект 23-26-10018 «Прогнозирование реакции сельскохозяйственных животных на низкоинтенсивную радиацию и применение радиопротекторов. Экспрессный биолюминесцентный скрининг радиобиологических эффектов».

**Степень достоверности результатов проведенных исследований** подтверждается значительными по объему практическими и радиоэкологическими исследованиями, выполненными на высоком методическом уровне; статистической обработкой полученных данных. Используются классические и современные методы, выполненные на специализированном высокотехнологическом оборудовании. Научно-практические суждения диссертанта не противоречат сложившимся представлениям в радиоэкологии и ветеринарной радиобиологии, являются значительным дополнением к ним.

Достоверность экспериментов подтверждается обширным фактическим материалом, комплексностью исследований, статистической обработкой цифровых данных с применением методов вариационной статистики и регрессионного анализа, а также апробацией на научно-практических конференциях национального, всероссийского и международного уровней.

Выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, грамотно аргументированы и вытекают из результатов собственных исследований и поставленных задач.

**Апробация результатов научных исследований.** Основные положения диссертации прошли широкую апробацию на 30-и научных мероприятиях, имеющих широкую географию, о чем свидетельствует их перечень, отраженный в диссертационной работе.

**Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы** заключается в том, автором самостоятельно определены цель и задачи диссертации, методика проведения исследований, сформированы группы исследуемых животных и определен диапазон поглощенных доз при облучении образцов крови «*in vitro*», осуществлена интерпретация полученных результатов, сформулированы соответствующие выводы и практические предложения.

**Оценка содержания диссертации.** Диссертационная работа Федотовой А.С. изложена на 328 страницах компьютерного текста, включает 56 таблиц, 57 рисунков, список литературы состоит из 290 наименований, из них 64 зарубежных источника. Диссертационная работа по своей структуре соответствует утвержденной форме и включает введение, обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты собственных исследований, обсуждение результатов исследования, выводы, практические предложения, список литературы, приложения.

В разделе «Введение» автор обосновывает актуальность исследований по теме работы; демонстрирует степень разработанности проблемы другими учеными; формулирует цель и задачи собственных исследований.

Обосновывает научную новизну; теоретическую и практическую значимость работы; описывает методологию и методы исследований; подтверждает достоверность результатов работы; указывает положения, выносимые на защиту; приводит сведения об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертационной работы.

Раздел «Обзор литературы» включает семь подразделов (1.1–1.7), где представлены: характеристика основных дозообразующих радионуклидов и их миграционная активность; влияние малых поглощенных доз на гомеостаз организма животных; опыт ученых по моделированию дозовой нагрузки для сельскохозяйственных животных; интегральная оценка эколого-радиобиологического состояния агробиocenозов и корреляционные взаимосвязи «доза облучения - радиобиологический эффект»; характеристика Красноярского края.

Раздел «Материалы и методы исследований» включает в себя характеристику объектов, общую схему эксперимента, описание использованных методик исследования. Диссертант использовал радиоэкологические, спектрометрические, физиологические, гематологические, биохимические, хемилюминесцентные и статистические методы исследования. Эти современные методы были грамотно применены в процессе выполнения всех исследований, в том числе при проведении модельного облучения, что позволило ему выполнить комплексную, логически завершенную научную работу на высоком методическом уровне.

В разделе «Результаты собственных исследований» автор описывает полученные им в процессе научной работы результаты. Все результаты объединены единой научной концепцией и излагаются последовательно. Этот раздел представляет собой наиболее крупную и значимую часть диссертационной работы.

1. Федотовой А.С. определено эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз радиации на агробиocenозы Красноярского края, где выделены аграрные ландшафты с дополнительной антропогенной

радиоэкологической нагрузкой, обусловленной присутствием  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  в почвах;  $^{137}\text{Cs}$  в кормах и продукции животноводства. Определены коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  по миграционной цепи, установлено, что 2% почвенного  $^{137}\text{Cs}$  переходит в корма, из них 2 - 5% – мигрирует в молоко коровье. Предложены уравнения линейной регрессии для прогнозирования удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в кормах и продукции животноводства.

Автором определена дозовая нагрузка на сельскохозяйственных животных в Красноярском крае, животные из радиационно-безопасных агробиоценозов имеют дозовую нагрузку 0,92 мГр/год, в агробиоценозах с дополнительной техногенной нагрузкой – 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год.

Установлено, что 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, крупного и мелкого рогатого скота.

Установлено, что в организме овец при дозе 1,55 мГр/год увеличивается количество свободных радикалов; у крупного рогатого скота при дозах 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год увеличивается продукция спонтанных и снижается количество антигенактивированных радикалов кислорода.

В результате моделируемого облучения образцов крови крупного рогатого скота «*in vitro*» в дозах от 1,33 мГр до 500 мГр установлено, что малые дозы разнонаправленно влияют на гематологические показатели, снижают фагоцитарную активность в 1,4–1,8 раза, доза в 50 мГр является пороговой для исчезновения юных форм нейтрофилов. 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. Автором установлены прямые корреляционные связи между кинетикой генерации первичных и вторичных радикалов кислорода в крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 1,33 и 1,55 мГр/год и моделируемым облучением проб «*in vitro*» в дозах 1,33 мГр и 1,55 мГр.

2. Федотовой А.С. предложен интегральный показатель радиационной опасности агробиоценозов (ИПРОА) для ее оценки, позволяющий дифференцировать аграрные ландшафты по степени радиоактивного техногенного загрязнения. Для расчета ИПРОА автором предлагаются следующие эколого-радиобиологические индексы: мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) внешнего гамма-излучения, удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах, кормах, клеточный состав лейкоцитов, их фагоцитарная активность и суммарная продукция первичных свободных радикалов при спонтанной ХЛ-реакции. Установлено, что ИПРОА для агробиоценозов аграрных ландшафтов с поглощенными дозами 1,33 и 1,55 мГр/год составили 0,42 и 0,33 соответственно, что превышало в 1,75 и 1,38 раз показатель ИПРОА для агробиоценозов аграрного ландшафта с поглощенной дозой 0,92 мГр/год (0,24).

В разделе «Заключение» автор представляет выводы и предложения, полностью вытекающие из цели и поставленных задач. Весь объем проведенных научных исследований и модельных опытов, а также полученные результаты свидетельствуют о том, что цель, поставленная в диссертационной работе, достигнута, задачи решены в полном объеме.

Список литературы оформлен согласно требованиям и сопоставим с обзором литературы.

**Публикации по материалам исследований.** По материалам диссертационной работы опубликовано 45 научных работ, из них 10 – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 3 – в журналах международной базы данных Scopus



и Web of Science, изданы: одна рекомендация, две монографии и два учебных пособия.

Текст автореферата полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы и отвечает требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Диссертационная работа Федотовой Арины Сергеевны написана грамотно с соблюдением научного стиля изложения, легко читается и воспринимается.

#### **Замечания, вопросы и пожелания по диссертации.**

Принципиальных замечаний, способных снизить ценность научной работы, нет. Несмотря на общую положительную оценку, в процессе ознакомления с текстом диссертации возник ряд вопросов, на которые хотелось бы получить пояснения:

1. Сегодня в отечественной и зарубежной литературе в понятие «малые (субклинические, сублетальные) дозы ионизирующих излучений» разные авторы вкладывают разные числовые значения, например, по мнению Ю.Б. Кудряшова (2003, «Радиационная биофизика (ионизирующие излучения)»), дозы ионизирующих излучений, вызывающие стохастических биологические эффекты делятся на «ультрамалые», «сверхмалые», «малые», «средние». Какой диапазон доз вложен в термины «малые дозы» и «субклинические дозы», используемые в представленной диссертационной работе?

2. Какие механизмы определяют статистически значимый абсолютный лимфоцитоз, регенеративный сдвиг ядра нейтрофильных гранулоцитов и снижение фагоцитарной активности лейкоцитов у коров при хроническом воздействии ионизирующих излучений в дозах 1,33 и 1,55 мГр/год?

3. Какими механизмами объясняется повышение количества юных и палочкоядерных нейтрофильных гранулоцитов в «*in vitro*» исследованиях в диапазоне доз облучения от 1,33 по 6,0 мГр и отсутствие юных

нейтрофильных гранулоцитов и снижение числа палочкоядерных нейтрофильных гранулоцитов при облучении крови в диапазоне доз от 50 по 500 мГр?

4. В тексте диссертации на странице 181, 3 абзац написано: «Наибольшую устойчивость к воздействию малых доз при облучении «*in vitro*» показали лейкоциты.». Чем объясняется более высокая радиостойкость лейкоцитов относительно эритроцитов, а также более высокая радиостойкость лимфоцитов относительно нейтрофильных гранулоцитов при «*in vitro*» исследованиях крови на фоне воздействия ионизирующей радиации в диапазоне доз от 1,33 по 500 мГр?

5. Согласно анализа эколого-радиобиологического состояния территории Красноярского края были выделены аграрные ландшафты с дополнительной техногенной нагрузкой, обусловленной присутствием радионуклидов  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  в почвах,  $^{137}\text{Cs}$  в кормах. Таким образом, животные могут подвергаться сочетанному облучению. Каков вклад перечисленных радионуклидов в формирование дозовой нагрузки на животных от внешнего и внутреннего облучения и проводился ли ретроспективный анализ показателей заболеваемости животных инфекционными и незаразными болезнями за время выполнения работы?

6. В материалах и методах исследований не указана мощность дозы внешнего гамма-излучения от  $^{137}\text{Cs}$  при облучении крови «*in vitro*». Какая была мощность дозы в «*in vitro*» исследованиях и как она коррелировала с мощностью дозы от техногенных радионуклидов в «*in vivo*» исследованиях?

7. В разделе 3.2.2 диссертации представлены сведения об удельной активности рациона коров в стойловый и пастбищный периоды, однако в тексте представлены данные лишь по удельной активности сена и зелёной массы. Проводилась ли оценка содержания техногенных радионуклидов в других кормах рациона животных?

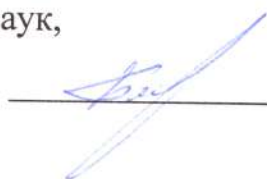
Представленные в отзыве вопросы носят дискуссионный характер, не затрагивают принципиальных положений, изложенных автором в диссертационной работе, не снижают ее научной и практической ценности.

### **Заключение.**

Выполненная Федотовой Ариной Сергеевной диссертация тему: «Эколого-радиобиологическое влияние субклинических доз ионизирующего излучения на агробиоценозы Красноярского края» является законченной научно-квалификационной работой, подготовленной самостоятельно на высоком методическом уровне, которая содержит новый подход к актуальной проблеме, имеющей важное народно-хозяйственное значение. По актуальности, научно-методическому уровню, новизне полученных результатов и практической значимости она полностью соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения научных степеней» № 842, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Федотова Арина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 4.2.2. – Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность.

Диссертационная работа Федотовой А.С., автореферат диссертации и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ветеринарной гигиены и радиобиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» (протокол №9 от 8 апреля 2024 года).

Заведующий кафедрой ветеринарной  
гигиены и радиобиологии,  
доктор ветеринарных наук,  
доцент



Белопольский Александр Егорович

Доцент кафедры ветеринарной  
гигиены и радиобиологии,  
кандидат биологических наук,

доцент



Васильев Роман Олегович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины». Адрес 196084, г. Санкт-Петербург, ул.  
Черниговская, дом 5, раб. тел. +7(812)388-36-31;  
e.mail: [secretary@spbguvm.ru](mailto:secretary@spbguvm.ru)