

Диссертационный совет 24.1.013.01  
на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и  
агроэкологии»

## РЕШЕНИЕ

О результатах публичной защиты диссертации

Рассмотрев диссертацию Снегирева Алексея Сергеевича на тему «Радиоактивные частицы в пищевой цепочке жвачных сельскохозяйственных животных: транспорт в пищеварительном тракте и метаболизм радионуклидов на примере  $^{131}\text{I}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. Радиобиология, на заседании 17.02.2023 диссертационный совет принял решение присудить Снегиреву А.С. ученую степень кандидата биологических наук.

В заседании участвовали 18 человек, из них 17 докторов наук по специальности в совете 1.5.1. Радиобиология, из 20 человек, входящих в состав совета. Присутствовали: д-р биол. наук Санжарова Н.И., председатель диссертационного совета; д-р биол. наук Панов А.В., заместитель председателя; канд. биол. наук Бондаренко Е.В., ученый секретарь; д-р биол. наук Волкова П.Ю., д-р биол. наук Гераськин С.А.; д-р биол. наук Грудина Н.В.; д-р биол. наук Карпенко Е.И., д-р биол. наук Крышев А.И.; д-р физ.-мат. наук Крышев И.И.; д-р физ.-мат. наук Кураченко Ю.А., д-р биол. наук Кузнецов В.К.; д-р биол. наук Лукашенко С.Н.; д-р биол. наук Мирзоев Э.Б.; д-р биол. наук Переволоцкий А.Н.; д-р биол. наук Спиридонов С.И.; д-р биол. наук Спирин Е.В.; д-р биол. наук Удалова А.А.; д-р биол. наук Фесенко С.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бондаренко Е.В.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.013.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ»  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ  
ИНСТИТУТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 17.02.2023 № 1

О присуждении Снегиреву Алексею Сергеевичу, гражданину РФ ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Радиоактивные частицы в пищевой цепочке жвачных сельскохозяйственных животных: транспорт в пищеварительном тракте и метаболизм радионуклидов на примере  $^{131}\text{I}$ » по специальности 1.5.1. Радиобиология принята к защите 14.12.2022 (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.013.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ), Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатowski институт»: 249032, Россия, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, дом 1, корпус 1, помещение 32, приказы № 362/нк от 29.07.2013 и № 561/нк от 03.06.2021.

Соискатель Снегирев Алексей Сергеевич, 02.10.1987 года рождения, в 2011 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (диплом ВСГ 5648789 от 26.02.2011); в 2020 году окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (диплом № 104024 3890102 от 01.08.2020). Работает младшим научным сотрудником лаборатории измерения ионизирующих излучений ФГБНУ ВНИИРАЭ.

Диссертация выполнена в лаборатории измерения ионизирующих излучений ФГБНУ ВНИИРАЭ.

Научный руководитель – кандидат биологических наук, доцент Козьмин Геннадий Васильевич, ФГБНУ ВНИИРАЭ, лаборатория № 4, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Степаненко Валерий Федорович, доктор биологических наук, профессор, Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба – филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения

Российской Федерации, лаборатория медико-экологической дозиметрии и радиационной безопасности, заведующий лабораторией,

Мамихин Сергей Витальевич, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», кафедра радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности» Министерства сельского хозяйства РФ, г. Казань в своем положительном отзыве, подписанном Вагиным Константином Николаевичем, доктором биологических наук, заведующим лабораторией радиационного контроля и техники и Фроловым Алексеем Викторовичем, доктором биологических наук, заведующим лабораторией радиационной безопасности и ветеринарно-санитарной экспертизы указала, что диссертация Снегирева А.С. является самостоятельным, завершённым исследованием, в котором изучены закономерности поведения полидисперсных радиоактивных частиц в пищевой цепочке и разработаны камерные модели транспорта радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) крупного рогатого скота и овец, а также модели метаболизма радионуклидов, входящих в состав частиц (на примере  $^{131}\text{I}$ ). В работе основное внимание уделяется вопросу формирования источника внутреннего облучения животных на основе математического моделирования транспорта полидисперсных радиоактивных частиц в ЖКТ животных. Полученные камерные модели ЖКТ были использованы для разработки унифицированной модели метаболизма радионуклидов на примере  $^{131}\text{I}$  для перорального поступления радионуклидов в составе частиц и/или в растворимых конденсационных формах выпадений, а также при внутривенном введении радионуклида. Разработанные математические модели могут использоваться в ряде практических задач, касающихся вопросов оперативного реагирования и повышения устойчивости животноводства в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды, а также в радиобиологии и ветеринарной медицине (диагностика с использованием радиоактивных изотопов йода, терапия радиационного гастроэнтероколита). Указанные в отзыве замечания не снижают научную и практическую значимость работы, не затрагивают выводов и положений, выносимых на защиту, не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Соискатель имеет 51 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК и/или индексируемых в базе данных Scopus – 5 статей. Высокий рейтинг рецензируемых журналов подтверждает научную значимость полученных результатов. В список опубликованных по теме диссертации работ входят материалы международных, всероссийских и региональных конференций. Подготовка публикаций выполнена соискателем лично или при непосредственном участии.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Козьмин Г.В., Епимахов В.Г., **Снегирев А.С.**, Санжарова Н.И., Бударков В.А., Транспорт радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте овец // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58. № 3. С. 305–316 (ВАК).

2. Kurachenko Yu. A., Sanzharova N.I., Kozmin G. V., Budarkov V. A., Denisova E. N., **Snegirev A. S.** Cattle's Thyroid Dose Estimation with Compartmental Model of Iodine Metabolism and Monte Carlo Transport Technique // Medical radiology and radiation safety, 2018. 63(5). p. 48-54. 10.12737/article\_5bc896ee239387.41111179 (Scopus).

3. Денисова Э.Н., **Снегирев А.С.**, Кураченко Ю.А., Козьмин Г.В., Бударков В.А., Санжарова Н.И., Матусевич Е.С. Численное моделирование в дозиметрических задачах ядерной медицины и радиобиологии // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2018. №4. С. 138-151. DOI 10.26583/npe.2018.4.12 (Scopus).

4. Denisova E. N., **Snegirev A. S.**, Budarkov V. A., Kurachenko Yu. A. and Kozmin G. V., Model of the thyroid gland irradiation in the radiobiological experiment analysis // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, 487(1), 012028. DOI 10.1088/1757-899X/487/1/012028 (Scopus).

5. Kozmin G.V., Fesenko S., **Snegirev A.S.**, Sanzharova N.I., Kurachenko Yu. A., Environmental behaviour of radioactive particles: Transfer to animals // Journal of Environmental Radioactivity, 2020, 213, 106111. DOI 10.1016/j.jenvrad.2019.106111 (Scopus).

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов от канд. биол. наук Катковой М.Н. (ФГБУ Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск), д-ра биол. наук Рубановича А.В. (ФГБУН «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова», г. Москва), д-ра биол. наук Сынзыныс Б.И. (ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный Университет «МИФИ»», г. Обнинск), д-ра биол. наук Аверина В.С. (Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь), канд. биол. наук Латыновой Н.Е. (Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Техническая академия Росатома», г. Обнинск), д-ра биол. наук Торшина С.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва), д-ра геол.-минерал. наук Коробовой Е.М. (ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва). Все отзывы положительные. Отмечена актуальность работы, теоретическая и практическая значимость, новизна результатов, высокий методический уровень выполненных исследований, четкость формулировок и выводов, а также возможность использования результатов в решении практических задач, касающихся вопросов оперативного реагирования и повышения устойчивости животноводства в условиях радиационных аварий и других инцидентов, приводящих к загрязнению окружающей среды радиоактивными частицами. Принципиальные замечания в отзывах отсутствуют. В качестве замечаний отмечается: 1) Необходимо указать, в

сравнительном аспекте, что принципиально нового вносится в разработку противорадиационных мероприятий в животноводстве в острый период аварий реакторного типа (д-р биол. наук Аверин В.С.); 2) Важное значение в начальный период аварии имеет поступление радионуклидов не только с кормами, но и почвенной компонентой. Учитывал ли автор поступление частиц не только с растительностью, но и с почвенной компонентой при пастбищном содержании, что может повлиять на оценку формирования поглощенной дозы в отделах ЖКТ (д-р биол. наук Аверин В.С.); 3) В качестве недостатка работы хотелось бы обратить внимание соискателя на целесообразность более широкого обсуждения полученных результатов для сценариев радиоактивного загрязнения природной среды, не связанных с ядерными испытаниями и авариями реакторного происхождения. В частности, такого обсуждения заслуживают задачи реабилитации территорий ядерного наследия, включая районы добычи и переработки уранового сырья, территории временных хранилищ радиоактивных отходов, перспективные проекты по выводу АЭС из эксплуатации (канд. биол. наук Латынова Н.Е.); 4) Автором исследованы закономерности поведения полидисперсных радиоактивных силикатных частиц, однако состав РЧ, поступающих в атмосферу, более разнообразен. Обоснование выбора собственно силикатных частиц в автореферате не приведено (д-р геол.-минерал. наук Коробова Е.М.); 5) Нативные опыты с выпасом проводили на суходольных пастбищах, однако часто животные выпасаются на поймах, где переход радионуклидов в подвижные и более доступные формы происходит более активно (д-р геол.-минерал. наук Коробова Е.М.).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются компетентными специалистами в области радиобиологии и радиозологии, имеют значимые публикации в ведущих международных и отечественных научных изданиях. Д-р биол. наук, профессор Степаненко В.Ф. – ведущий ученый в области радиобиологии, дозиметрии и радиационной безопасности, участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.; д-р биол. наук Машихин Сергей Витальевич – участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., известный специалист в области моделирования экологических и радиобиологических процессов, поведения радионуклидов и экотоксикантов в биосфере.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований впервые установлены основные закономерности поведения труднорастворимых радиоактивных частиц разной дисперсности в пищевой цепочке и в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) жвачных сельскохозяйственных животных, определены кинетические параметры формирования источников внутреннего облучения крупного рогатого скота и овец, определяющих возникновение недостаточно изученной к настоящему времени формы острой лучевой болезни, обусловленной инкорпорированными в организм животных радиоактивными частицами.

Основным инструментарием диссертационного исследования явились

разработанные соискателем оригинальные математические модели транспорта радиоактивных частиц в ЖКТ и метаболизма радионуклидов в организме животных, выщелоченных из состава частиц в содержимом пищеварительного тракта, на примере  $^{131}\text{I}$ . Разработанная камерная модель ЖКТ животных и определение значений ее кинетических параметров позволили провести сравнение по показателям скорости транспорта радиоактивных частиц и кормовых масс, а также дать объяснение процессам формирования очагов острого радиационного язвенно-некротического поражения слизистой оболочки ЖКТ в областях, отличающихся морфологией слизистой оболочки с повышенной депонирующей способностью. Для определения исходных параметров был использован уникальный массив ранее недоступных экспериментальных данных, полученных ВНИИРАЭ и институтами соисполнителями при изучении последствий возможного ядерного конфликта. Принципиально важным результатом диссертационного исследования является полученный с использованием камерной модели прогноз последствий длительного депонирования частиц в ЖКТ в течение нескольких месяцев на примере топливных частиц чернобыльского происхождения. Полученные оценки показывают, что длительное пребывание в ЖКТ «горячих» частиц, содержащих в своем составе долгоживущие радионуклиды, способно явиться причиной хронической формы лучевой болезни животных.

Отдельного внимания заслуживает многокамерная модель метаболизма  $^{131}\text{I}$ , разработанная соискателем для перорального поступления радионуклидов в составе частиц и/или в растворимых конденсационных формах выпадений. Модель адаптирована для ситуации стойлово-выгульного содержания животных и позволяет дать оценку дозиметрических характеристик облучения щитовидной железы и уровней радиоактивного загрязнения молока для однократного, многократного и пастбищного сценариев перорального поступления радиоактивных изотопов йода. Установлено, что величина интегральной поглощенной дозы, приводящей к разрушению паренхиматозной ткани щитовидной железы телят, составляет ~330 Гр, что сопоставимо с дозой абляции тканей щитовидной железы человека (300 Гр), используемой в радиотерапии рака. Эти показатели являются «критическими» и во многом определяющего радиационную обстановку в ранний период аварий реакторного типа.

Теоретическая значимость исследования заключается в изучении фундаментальных закономерностей поведения полидисперсных радиоактивных частиц в пищевой цепочке и в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) крупного рогатого скота и овец. Разработаны камерные модели транспорта радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), а также модель метаболизма радионуклидов, входящих в состав радиоактивных частиц (на примере  $^{131}\text{I}$ ). Полученные результаты расширяют существующие представления радиобиологии о процессах формирования источника внутреннего облучения крупного рогатого скота и овец, приводящих к развитию еще недостаточно изученных форм радиационных поражений животных в виде острой и хронической лучевых болезней, обусловленных инкорпорацией радиоактивных труднорастворимых частиц.

Впервые дано математическое описание процессов поведения в пищевой цепочке и транспорта в ЖКТ выпадений в виде полидисперсных радиоактивных частиц, представляющее фундаментальную компоненту исследований в задачах дозиметрии, радиобиологии и радиэкологии сельскохозяйственных животных. Полученные результаты в корне меняют общепринятое представление о сычуге жвачных животных как транзитном отделе с минимальным временем пребывания содержимого, как правило, не превышающего 2 часов. Данное положение справедливо лишь для кормовых масс, вовлечение же в пищевую цепочку животных силикатных частиц обуславливает их длительное пребывание в сычуге ~50-80 часов у коров и даже частичную долговременную фиксацию у овец. Отмеченное обстоятельство не позволяет в оценках скорости прохождения частиц использовать классическую двухкамерную модель ЖКТ жвачных животных, предложенную физиологом К. Блэкстером и основанную на закономерностях двигательной функции пищеварительного тракта животных с 4-х камерным желудком. В настоящей работе классическая модель Блэкстера модифицирована с дополнительным введением камеры сычуга у крупного рогатого скота и овец и депо фиксации в сычуге овец с оценкой кинетических параметров, характерных для частиц разных размеров.

Практическое применение разработанных автором диссертационного исследования математических моделей связано с развитием системы оперативного реагирования в случае ядерного конфликта, при ядерных взрывах, радиационных авариях, а также вследствие радиационных инцидентов на предприятиях ЯТЦ. Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что разработанные математические модели могут использоваться для оценки загрязнения продукции животноводства и радиационных эффектов у крупного рогатого скота и овец, а также разработке мероприятий по повышению устойчивости животноводства в условиях радиоактивного загрязнения. Полученные результаты также имеют значение для решения проблем диагностики с использованием радиоактивных изотопов йода и терапии радиационного гастроэнтероколита сельскохозяйственных животных вследствие острого и хронического радиационного поражения инкорпорированными радиоактивными частицами.

С участием автора созданы программные продукты «Модель динамики полидисперсных радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота» и «Модель динамики мощности поглощенной дозы в отделах желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота при поступлении оплавленных радиоактивных частиц» (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2020615496 и № 2020617197, правообладатель – ФГБНУ ВНИИРАЭ).

Оценка достоверности результатов выявила, что они получены с применением современного метода математического моделирования – компартментального анализа, основанного на представлении определенных органов и тканей организма животных в виде отдельных камер, функционально связанных между собой и внешней средой транспортными коммуникациями и предполагающими перенос радиоактивных частиц и радионуклидов с кинетикой первого порядка. Достоверность

результатов определялась на основе сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных с использованием современных статистических критериев и программных средств (пакета программ PTC Mathcad Prime).

Личный вклад соискателя состоит в том, что Снегирев А.С. участвовал в формулировке проблемы, постановке цели и задач, планировании и моделировании, обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке материала для обсуждения на конференциях и публикации статей в научных журналах, а также в формулировке основных положений работы и выводов. В диссертационной работе соискатель использовал экспериментальные данные исследований ФГБНУ ВНИИРАЭ и ряда институтов соисполнителей, выполненных в 70-80-е годы прошлого столетия по вопросам потенциальной опасности для сельского хозяйства применения ядерного оружия. Эти данные, долгие годы являвшиеся недоступными для широкой научной общественности, сохраняют актуальность и представляют практический интерес для решения задач оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды и сельскохозяйственных территорий.

Высказанные в ходе защиты диссертации замечания не были расценены диссертационным советом как критические.

На заседании 17.02.2023 диссертационный совет принял решение: за вклад в изучение фундаментальных закономерностей поведения в пищевой цепочке и транспорта в ЖКТ жвачных сельскохозяйственных животных выпадений в виде полидисперсных радиоактивных частиц, за оценку острого и хронического радиационного поражения животных инкорпорированными радиоактивными частицами, за математическое описание процессов поведения в пищевой цепочке и транспорта в ЖКТ сельскохозяйственных животных выпадений в виде полидисперсных радиоактивных частиц, за разработку модели метаболизма радионуклидов (на примере  $^{131}\text{I}$ ), входящих в состав радиоактивных частиц, для оценки радиоактивного загрязнения продуктов животноводства и оценки состояния здоровья сельскохозяйственных жвачных животных

присудить Снегиреву А.С. ученую степень кандидата биологических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 17 докторов наук по специальности 1.5.1. Радиобиология, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Санжарова Наталья Ивановна

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бондаренко Екатерина Валерьевна

Дата оформления заключения: «17» февраля 2023 г.