

Утверждаю  
Генеральный директор  
ФГБУ «НПО «Тайфун»,  
кандидат технических наук

В.С. Косых

2021 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун» Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на диссертацию ЛАВРЕНТЬЕВОЙ Галины Владимировны «Радиобиологическое обоснование метода оценки экологического риска по критическим нагрузкам», представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.1 – Радиобиология

**Актуальность работы.** В настоящее время все большее развитие получают принципы нормирования радиационного воздействия на окружающую среду в рамках эконцентрической стратегии. При этом методы оценки радиационного экологического риска, которые являются одним из инструментов нормирования загрязнения окружающей среды, находятся в стадии становления. Диссертационная работа Лаврентьевой Галины Владимировны посвящена актуальной проблеме современной радиобиологии и радиоэкологии – разработке методов оценки экологических рисков при радиоактивном загрязнении экосистем.

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 1.5.1 – Радиобиология. Представленный в диссертационной работе метод оценки радиационного риска для наземной экосистемы, а также выполненная автором оценка влияния  $\beta$ -излучения  $^{90}\text{Sr}$  на морфологические показатели, характеристики накопления радионуклида, уровень белков-МТ наземного моллюска *F. fruticum* при хроническом облучении в малых дозах и на биохимические показатели почвы соответствуют научной специальности 1.5.1 – Радиобиология, включающей проблемы радиочувствительности биологических объектов (п. 5), стохастические и не стохастические эффекты, их особенности; зависимости: доза-эффект и время-эффект (п. 8), последствия ядерных катастроф, синдром Чернобыля, радиоэкология (п. 9), принципы и методы радиационного мониторинга, проблемы радиационной безопасности (п. 10), отдаленные последствия действия излучений; хроническое действие радиации (п. 11).

**Научная новизна.** Результаты диссертационной работы имеют несомненную научную новизну, которая заключается в разработке и апробации метода количественной оценки радиационного риска на биоту по критическим нагрузкам при хроническом радиоактивном загрязнении экосистемы. Впервые установлена чувствительность и достоверное изменение каталазной ферментативной активности почв к радиоактивному загрязнению  $^{90}\text{Sr}$  от фоновой удельной активности до 5 кБк/кг. Впервые на основании

ВХОД №	2910
ДАТА	27 СЕН 2021
КОЛ-ВО ЛИСТОВ:	6
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России	

многoletних натурных исследований приводится научное обоснование использования наземного моллюска *F. fruticum* M. как референтного вида для оценки радиационного воздействия на наземную экосистему. Впервые установлено достоверное радиационно-индуцированное изменение высоты раковины и уровня белков металлотнионейнов в мягких тканях наземного моллюска *F. fruticum* M. в диапазоне мощности поглощенной дозы от  $0.32 \pm 0.07$  до  $76 \pm 9$  мГр/год. Впервые на основании результатов натурального эксперимента установлено степенное изменение коэффициента накопления  $^{90}\text{Sr}$  раковинами моллюсков в зависимости от удельной активности радионуклида в крапиве двудомной. Впервые выполнен анализ радиационного воздействия на биоту возможной аварийной ситуации, связанной с протечкой  $^{90}\text{Sr}$  из хранилища РАО.

**Практическая и теоретическая значимость.** Результаты, полученные в диссертации, вносят вклад в расширение существующих баз данных о радиационных эффектах у представителей биоты в натуральных условиях, расширяют существующие знания о закономерностях миграции  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах наземной экосистемы. Полученные результаты вносят существенный вклад в формирование эоцентрической концепции радиационной защиты, а также в развитие технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды. Усовершенствование методов оценки мощности поглощенной дозы и разработанный автором алгоритм дозиметрического расчета внешнего и внутреннего облучения моллюска позволяет корректно оценивать дозовые нагрузки на референтный вид биоты. Обоснование и применение наземного моллюска как референтного вида при оценке экологического риска развивает концепцию радиационной защиты биоты с учетом климатических, радиоэкологических и других специфических особенностей территорий. Предложенные соискателем методы вносят вклад в развитие подходов к оценке радиационных экологических рисков и могут быть учтены при разработке нормативных документов в области радиационной безопасности биоты. Лаврентьева Г.В. имеет свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ: Экориск: система анализа экологических данных, САМИР: система анализа миграции радионуклидов. Результаты диссертационного исследования включены в учебный процесс КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (дисциплины «Радиационная безопасность», «Экология техносферы»), ИАТЭ НИЯУ МИФИ (дисциплина «Техногенные системы и экологический риск», «Радиационная биология и радиоэкология»).

**Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов** определяется применением современного оборудования и методик, большим объемом достоверных экспериментальных данных, воспроизводимостью установленных экспериментальных зависимостей в течение всего периода исследований, а также применением современных пакетов статистического анализа.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования были представлены на международных и российских научных конференциях в области радиационной биологии и радиоэкологии. По теме диссертации опубликовано 106 печатных работ, в том числе 18 статей в рецензируемых журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ; 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ; 1 работа в коллективной монографии; 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science. Материалы диссертационного исследования легли в основу двух учебно-методических пособий для студентов ВУЗов, автором которых является соискатель.

**Оценка содержания диссертации.** Диссертационная работа изложена на 273 страницах, содержит введение, 8 глав, заключение, выводы, список использованной литературы, включающий 390 источников, из них 144 на иностранном языке. Диссертация содержит 32 рисунка, 31 таблицу и 5 приложений. Структура диссертации внутренне сбалансирована, главы диссертационной работы логически выстроены и взаимосвязаны.

Во Введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, а также степень достоверности и апробация результатов исследования.

В Главе 1 «Анализ методов оценки экологического риска и риска для здоровья человека при воздействии радиационного и химического факторов (Обзор литературы)» рассмотрены современные тенденции в области радиационной защиты биоты и человека, научные достижения при оценке радиационного риска. Выполнен критический анализ отечественной и иностранной научной литературы по теме диссертационного исследования. Автором показаны недостатки существующих методов оценки радиационного риска: ограниченный набор референтных животных и растений, используемый МКРЗ; недостаток научной информации о радиационно-индуцированных эффектах у представителей биоты в природных условиях; проведение оценки риска без учета совокупности факторов воздействия на биоту; количественные методы оценки риска находятся в стадии становления.

В Главе 2 «Метод количественной оценки радиационных рисков по критическим нагрузкам на наземную экосистему» предложен метод оценки экологического риска. Предлагаемый метод является развитием существующих подходов к оценке риска и обоснованно включает пять этапов: идентификацию опасности; выявление референтных видов и показателей; определение и анализ критических нагрузок на основе построения зависимостей «доза – эффект» в градиенте нагрузки; оценку экологического риска по критическим нагрузкам и анализ функций риска; анализ неопределенностей.

В Главе 3 «Объекты и методы исследования» приводится характеристика экспериментальной площадки для проведения исследований. Экспериментальной площадкой является территория расположения хранилища радиоактивных отходов на севере Калужской области, которая подверглась загрязнению в результате разгерметизации емкости хранилища. Приводятся объекты исследования, к которым относятся почва и почвенные ферменты (каталаза, дегидрогеназа, инвертаза, уреаза), водные объекты (грунтовая вода, вода ручья и болота) исследуемой территории, наземные моллюски (улитка кустарниковая (*F. fruticum* M.) и янтарка обыкновенная (*Succinea putris*)), крапива двудомная (*Urtica dioica*). В данной главе автор достаточно подробно приводит методы исследования, которые отличаются комплексностью и включают методы пробоотбора и пробоподготовки образцов почвы, растительности, моллюсков; методы определения морфологических показателей моллюсков, радиохимический метод определения белков металлотнионсинов в мягких тканях моллюсков; дозиметрические методы оценки мощности поглощенной дозы облучения моллюска; методы определения ферментативной активности почв; метод оценки радиационного риска для населения; методы статистической обработки экспериментальных данных; методы создания ГИС исследуемой территории.

В Главе 4 «Идентификация опасностей» приводятся результаты первого этапа оценки экологического риска, в рамках которого необходимо определить фактор экологической опасности, реципиент воздействия и оценить экспозицию. На основании многолетнего мониторинга химического и радиоактивного загрязнения водных объектов и почвы исследуемой территории выявлено, что фактором экологической опасности на изучаемой территории является радиоактивное загрязнение почвы  $^{90}\text{Sr}$  и химическое загрязнение почвы, а реципиентом воздействия – наземная экосистема.

В Главе 5 «Выявление референтных видов и показателей при радиоактивном загрязнении  $^{90}\text{Sr}$  наземной экосистемы» автор вводит термин «референтный показатель», который отражает радиационно-индуцированное изменение морфологического, физиологического, биохимического или другого показателя биоты на уровне вида, популяции или экосистемы в целом, которое может быть описано достоверной моделью, имеющей пороговое значение. В рамках предложенного автором метода пороговое

значение выступает критической нагрузкой для оценки радиационного экологического риска. В качестве референтных видов в диссертационном исследовании рассматриваются наземные моллюски янтарка *Succinea putris* и улитка кустарниковая *F. fruticum* M., референтными показателями являются морфологические показатели моллюсков (масса раковины, всего организма, ширина и высота раковины), ферментативная активность почв (каталазная, уреазная, инвертазная, дегидрогеназная). На основании проведенных исследований выявлено, что референтным видом является улитка кустарниковая. Анализ изменения ферментативной активности почв позволил автору установить, что при радиоактивном загрязнении почвы  $^{90}\text{Sr}$  чувствительным ферментом является каталаза, а каталазная активность рассматривается как референтный показатель.

Результаты исследований, представленные в Главе 6, направлены на выявление и анализ критических нагрузок на основе построения зависимостей «доза – эффект». На данном этапе предлагаемого метода оценки экологического риска автором выявлены наиболее чувствительные биологические показатели при загрязнении изучаемой территории. При этом установлено достоверное радиационно-индуцированное изменение каталазной активности почв, которое описывается моделью с пороговым значением. Выявлено степенное изменение коэффициента накопления  $^{90}\text{Sr}$  раковинами моллюска в зависимости от удельной активности радионуклида в крапиве, которая является основной кормовой базой для животного.

Для интерпретации экспериментальных данных в призме «мощность дозы – биологический эффект» автором выполнена оценка мощности поглощенной дозы облучения моллюска. Автор провела глубокий анализ общепринятых дозиметрических подходов для оценки дозовой нагрузки на представителей биоты, выполнила оценку мощности поглощенной дозы облучения моллюска посредством программного пакета ERICA Tool и классических расчетных формул Левинджера и Маринелли. В диссертационном исследовании выявлены существенные недостатки вышеуказанных подходов при оценке дозовых нагрузок на моллюска в природных условиях. Разработанный для моллюска алгоритм дозиметрического расчета, основанный на методе Монте-Карло, несомненно, является сильной стороной диссертационного исследования. Алгоритм учитывает все возможные источники облучения животного и максимальное количество параметров, включая физико-химические параметры среды обитания моллюска, морфологические показатели моллюска, время экспозиции.

Дальнейшее обоснование референтных показателей выполнено с учетом мощности поглощенной дозы облучения моллюска. Автором выявлено радиационно-индуцированное изменение высоты раковины моллюска и уровня белков металлотионсинов, определены соответствующие пороговые значения и критические нагрузки для оценки экологического риска. При этом в исследовании обоснованно проверено отсутствие влияния факторов, которые могут влиять на изменение референтных показателей, а именно химическое загрязнение почвы, климатические факторы, физиологические особенности животного, плотность популяции.

В Главе 7 «Оценка радиационного экологического риска по критическим нагрузкам» проведена оценка экосистемного риска, анализ функций риска и анализ неопределенностей в оценке риска. При этом за приемлемую величину принят показатель превышения критических нагрузок на площади не менее 95% от рассматриваемой территории. На основании критических нагрузок на референтные показатели автор выявила приемлемость радиационного экологического риска на исследуемой территории.

В Главе 8 проводится «Сравнительный анализ радиационного воздействия на биоту и население при аварийных ситуациях». Приводится сравнение индексов радиационного воздействия (отношения расчетной мощности дозы к пределу) при потенциальной протечке  $^{90}\text{Sr}$  из хранилища РАО для населения и представителя биоты (наземного моллюска). При этом в диссертационной работе указывается, что индекс радиационного воздействия для моллюска в рассмотренном случае выше, чем для человека, на основании

чего делается вывод о необходимости дальнейшего использования эоцентрической концепции защиты окружающей среды, наряду с антропоцентрической.

Выводы диссертации сформулированы в соответствии с поставленными задачами, следуют из результатов исследований и отражают основные положения работы.

#### **Замечания**

- В обзоре литературы отсутствует ссылка на публикацию МКРЗ № 136 по тематике диссертации «Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation» (2017 г.).
- Отсутствует сравнение оценок радиационного риска и дозовых нагрузок, полученных для нового референтного вида (моллюска) с оценками доз и радиационного риска на той же загрязненной <sup>90</sup>Sr территории для рекомендованных МКРЗ референтных видов (дождевого червя и мыши). Такое сравнение могло бы являться обоснованием необходимости введения дополнительных референтных видов в систему радиационной защиты биоты.
- Автор определяет пороговую критическую нагрузку для экосистемы как уровень облучения, соответствующий статистически значимому изменению определенной биологической характеристики (например, высоты раковины моллюска). Необходимо обосновать, каким образом изменение предложенного конкретного показателя может повлиять на жизнеспособность популяции или экосистемы в целом.
- Необходимо обсудить значимость для экосистемы в целом обнаруженных изменений в изученных автором показателях отдельных компонентов экосистемы (почва, моллюски) и отразить их, выбрав и обосновав наиболее критический параметр для всей экосистемы.
- В главе 7 отсутствует обоснование определения размеров территории, для которой проводится расчет экологического риска.
- Для расчета индекса радиационного воздействия для моллюска автор использует только одно, максимальное, значение мощности дозы. В то же время из таблицы 21 следует, что установленные автором уровни критической нагрузки 37 мГр/год превышаются только на 6-ти из обследованных 44-х участков. В связи с этим вывод о том, что «моллюск... в сложившихся радиоэкологических условиях не является защищенным» представляется спорным.

Сделанные замечания носят дискуссионный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Г.В. Лаврентьевой.

Работа выполнена на современном научном и методическом уровнях с использованием современных методов исследования, является грамотным и логически завершенным научным трудом. Материалы, представленные в автореферате, полностью соответствуют материалам, представленным в диссертации.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Лаврентьевой Галины Владимировны на тему: «Радиобиологическое обоснование метода оценки экологического риска по критическим нагрузкам», представленная на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальностям 1.5.1 – Радиобиология, является законченной научно-квалификационной работой, которая вносит существенный вклад в решение крупной народнохозяйственной проблемы – обеспечение радиационной защиты биоты и экологической безопасности на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, а также в развитие эоцентрической концепции радиационной защиты.

Диссертация Лаврентьевой Г.В. соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (с изменениями от 21 апреля 2016

года № 335), а ее автор Лаврентьева Галина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.1 – Радиобиология.

Отзыв на диссертацию и заключение обсуждены и единогласно одобрены на заседании секции № 2 «Мониторинг загрязнения окружающей среды» Ученого совета ФГБУ «НПО «Тайфун» «07» сентября 2021 г. (протокол № 6).

Отзыв составил:

Ведущий научный сотрудник ФГБУ «НПО «Тайфун»,  
доктор биологических наук



А.И. Крышев

07.09.2021

Контактная информация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун», адрес: 249038, г. Обнинск Калужской области, ул. Победы, 4, телефон: (484) 3997004, (919) 0356498, e-mail: [post@rpatyphoon.ru](mailto:post@rpatyphoon.ru); [krvshev@rpatyphoon.ru](mailto:krvshev@rpatyphoon.ru)