

О Т З Ы В

официального оппонента доктора биологических наук, профессора РАН Панова А.В. на диссертацию Лаврентьевой Галины Владимировны на тему: «Радиобиологическое обоснование метода оценки экологического риска по критическим нагрузкам», представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.1 – Радиобиология.

Актуальность темы диссертации

За последние 30 лет в мировой науке получены многочисленные результаты исследований показывающие, что не во всех радиозэкологических ситуациях антропоцентрический принцип обеспечения радиационной безопасности (если защищен человек, то защищена и природа) является единствено верным. Так, существуют ситуации, когда в окружающей среде человек отсутствует, а растения и животные подвергаются воздействию радиации (например, в местах захоронения радиоактивных отходов). При этом повышенному риску могут подвергаться виды, которые, как и человек, располагаются на верхней ступени экологических пирамид. На территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения (голонная часть ВУРСа, 30-км зона ЧАЭС, 20-км зона вокруг АЭС «Фукусима-Дайичи») превышение допустимых уровней облучения человека предотвращают с помощью специально разработанных защитных мероприятий, но биота подвергается радиационному воздействию без ограничений. Особенно значительны различия между поглощенными человеком и некоторыми видами биоты (почвенная мезофауна, мышевидные грызуны, корневые системы растений) дозами в условиях высоких уровней загрязнения α-излучающими радионуклидами. С учетом близкой радиочувствительности человека и ряда эдификаторных, определяющих функционирование и устойчивость экосистем видов (хвойные древесные породы, многие макропитающие), становится понятным, что такое соотношение поглощенных человеком и другими объектами живой природы доз требует особого внимания к радиационной защите растений, животных и их сообществ. Понимая важность развития экоцентрических принципов радиационной безопасности, в Публикации МКРЗ 103 впервые появился раздел «Радиационная защита окружающей среды», где отмечена необходимость в рекомендациях по регулированию воздействия радиации на биоту. Требования регламентирования радиационного качества окружающей среды содержатся и в положениях ФЗ «Об охране окружающей среды», однако законодательная и нормативная база в области радиационной защиты биоты в нашей стране находится в стадии становления. Все это говорит о безусловной актуальности темы представленной к защите Лаврентьевой Г.В. диссертационной работы, которая посвящена разработке метода количественной оценки экосистемного риска при хроническом радиоактивном загрязнении и апробация метода на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению.

Достоверность и новизна диссертационного исследования

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации Лаврентьевой Г.В. подтверждается применением современного оборудования и используемых в мировой научной практике методик, а также большим объемом освоен-

ВХОД №	3268
ДАТА	16 АВГ 2021
ХОЛ-ДО ЛИСТОВ:	8
ФГБУ НЦ ФМБЦ	ФГБУ НЦ ФМБЦ
ОБЪЕМ ОСНОВНОГО ДОКУМЕНТА	100
ОСНОВНАЯ ОБЛАСТЬ	Физическая безопасность

экспериментальных данных (3,5 тыс. особей наземных моллюсков, 723 пробы растительности, 805 проб почвы) и воспроизводимостью экспериментальных зависимостей изменения референтных показателей в натурах условиях в течение многолетнего (2010-2017 гг.) периода исследований.

Результаты диссертации имеют несомненную научную новизну, заключающуюся в разработке и апробации метода оценки радиационного экосистемного риска на основе критических нагрузок при хроническом радиоактивном загрязнении наземной экосистемы. Впервые разработан алгоритм дозиметрического расчета внешнего и внутреннего облучения малого биологического объекта – наземный моллюск с учетом всех возможных источников облучения. Впервые установлены достоверные радиационно-индукционные эффекты в условиях хронического облучения ^{90}Sr у наземного моллюска – улитка кустарниковая (*Fruticola fruticum* M.). В натурах условиях установлено степенное изменение коэффициента накопления ^{90}Sr раковинами моллюсков в зависимости от удельной активности радионуклида в крапиве двудомной (*Urtica dioica*). На основании многолетних натурах исследований приводится научное обоснование наземного моллюска *F. fruticum* M., как претендента на включение в список референтных видов для оценки радиационного воздействия на наземную экосистему. Показано, что пролонгированное поступление радионуклидов в почву и водные объекты изучаемой территории хранилища РАО, оказывает большее радиационное воздействие на референтный вид (наземного моллюска *F. Fruticum* M.), чем на человека.

Результаты диссертационной работы Лаврентьевой Г.В. прошли апробацию на 49 российских и международных научных форумах, опубликованы в 106 печатных работах, включая 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.

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе Лаврентьевой Г.В., получены при реализации Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых, гранта РФФИ, в рамках выполнения договоров с Госкорпорацией Росатом и по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Значимость для науки и практики полученных диссидентом результатов

Полученные в диссертационной работе Лаврентьевой Г.В. результаты и научно-методические подходы использованы для количественной оценки влияния радиационного фактора на наземные экосистемы, что вносит вклад в расширение экоцентрической концепции радиационной защиты. Разработанный метод оценки экосистемного риска при хроническом радиоактивном загрязнении вносит существенный вклад в развитие технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения, которые отнесены к критическим технологиям РФ согласно Указу Президента РФ № 899 от 7 июля 2011 г. «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в

Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». Разработанный алгоритм расчета мощности поглощенной дозы облучения малого биологического объекта (наземного моллюска) вносит вклад в решения дозиметрических задач, сформулированных МКРЗ для развития концепции радиационной безопасности биоты. Применение наземного моллюска в качестве референтного вида для оценки радиационного воздействия на окружающую среду развивает концепцию радиационной защиты биоты с учетом климатических, радиоэкологических и других специфичных особенностей территорий. Полученные в диссертационной работе научно обоснованные решения вносят вклад в развитие существующих подходов к оценке радиационных экологических рисков и могут быть учтены при разработке отечественных и международных нормативных документов в области радиационной безопасности биоты.

Практическая значимость диссертационной работы Лаврентьевой Г.В. также определяется наличием свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ: Экориск: система анализа экологических данных, САМИР: система анализа миграции радионуклидов. Результаты диссертационной работы включены в учебный процесс КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (дисциплины «Радиационная безопасность», «Экология техносферы»), ИАГЭ НИЯУ МИФИ (дисциплина «Техногенные системы и экологический риск», «Радиационная биология и радиоэкология»). Все эти факты говорят о высокой практической значимости результатов диссертационной работы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

В соответствии с формулой специальности 1.5.1 «Радиобиология», охватывающей п. 5 «Проблемы радиочувствительности биологических объектов», п. 8 «Стохастические и не стохастические эффекты, их особенности; зависимости: доза-эффект и время-эффект», п. 9 «Последствия ядерных катастроф. Синдром Чернобыля. Радиоэкология», п. 10 «Принципы и методы радиационного мониторинга, проблемы радиационной безопасности», п. 11 «Отдаленные последствия действия излучений. Хроническое действие радиации», в диссертационной работе Лаврентьевой Г.В. представлены данные многолетнего радиационного мониторинга; результаты натурных и лабораторных исследований влияния радиационного фактора на наземного моллюска *F. fruticum* M.; разработан метод оценки радиационного риска для наземной экосистемы в рамках решения проблем радиационной безопасности биоты; проведена оценка влияния β-излучения ^{90}Sr на морфологические показатели, показатели накопления радионуклида и уровень белков-МТ наземного моллюска *F. fruticum* M. при хроническом облучении в малых дозах, а также на биохимические показатели почвы.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертация содержит 273 страницы машинописного текста и состоит из введения, восьми глав, заключения, выводов, списка использованной литературы, пяти приложений, списка принятых сокращений. Основное содержание диссертации включает текст, 32 рисунка, 31 таблицу. Список литературы состоит из 390 библиографических ссылок, в том числе 246 – в отечественных изданиях и 144 – в зарубежных. Приложения занимают 16 страниц. Главы диссертационной работы логически выстроены, функционально

взаимосвязаны и дают детальное представление о предмете диссертационного исследования и его результатах.

В 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 первой главе проведён анализ отечественной и иностранной научной литературы в области радиационной защиты биоты и человека, оценки радиационного риска. Выявлены дискуссионные аспекты существующих методов оценки радиационного экологического риска, в частности, преобладание детерминистских подходов; ограниченный перечень референтных организмов, предложенный МКРЗ; отсутствие единого критерия безопасности биоты. Отмечено, что выбор показателей для оценки радиационного воздействия на биоту находится в стадии обсуждения; определены недостаточность результатов исследований для установления зависимости «доза – эффект» у представителей биоты, обитающих в естественной среде в условиях хронического облучения.

Во второй главе предложен метод количественной оценки радиационных экологических рисков по критическим нагрузкам на наземную экосистему, являющийся развитием существующих подходов к оценке риска. В основу предлагаемого подхода положен метод критических нагрузок, который изначально разработан для контроля техногенного загрязнения. Представленный метод включает следующие этапы: 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 третьей главе дана характеристика экспериментальной площадки для проведения натурных радиобиологических и радиоэкологических исследований. Представлены объекты исследования, в числе которых почва и почвенные ферменты (катализ, дегидрогеназа, инвертаза, уреаза), водные объекты (грунтовая вода, вода ручья и болота) исследуемой территории, наземные моллюски (улитка кустарниковая (*F. fruticum* M.) и яштарка обыкновенная (*Succinea putris*)), крапива двудомная (*Urtica dioica*). Представлены методы исследований, подходы к оценке радиационного риска, методы статистической обработки экспериментальных данных, подходы к созданию ГИС исследуемой площадки.

В четвертой главе, в рамках предложенного метода оценки экологического риска, проведена идентификация опасности, что предполагает определение реципиента и фактора экологической опасности, а также оценку экспозиции. Выполнен анализ данных по радиоактивному и химическому загрязнению поверхностных и подземных вод, а также почв района размещения регионального хранилища РАО. Показано, что для оценки экологического риска для рассматриваемой территории в качестве фактора экологической опасности необходимо рассматривать радиопуклид ^{90}Sr и содержание химических веществ в почве, а реципиентом воздействия – наземную экосистему.

Пятая глава диссертации посвящена выявлению референтных видов и показателей при радиоактивном загрязнении ^{90}Sr наземной экосистемы. Предложено ввести термин «референтный показатель», т.е. 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 свою очередь пороговое значение может выступать в качестве критической нагрузки при оценке экологического риска. На основе предложенной концепции проведена оценка ферментативной активности микробоценозов, а также морфологические показатели наземных моллюсков янтарка *Succinea putris* и улитка кустарниковая *F. fruticum* M. На основании выявленных в работе значимых отличий морфологических показателей у *F. fruticum* M. предложено данный вид моллюска рассматривать в качестве референтного вида при оценке радиационного экологического риска для изучаемой территории, а референтными показателями могут являться морфологические параметры данного моллюска.

В шестой главе определены и проанализированы критические нагрузки на исследуемый вид биоты на основе построения зависимостей «доза - эффект». Оценены зависимость «удельная активность ^{90}Sr в почве – изменение каталазной активности почвы». Подтверждено предположение о радиационно-индуцированном изменении каталазной активности. Оценена критическая нагрузка на основе анализа коэффициентов накопления в системе «почва – крапива – наземный моллюск». Показано, что КН ^{90}Sr раковинами моллюсков в зависимости от удельной активности радионуклида в крапиве может рассматриваться в качестве референтного показателя для данного вида. Оценена мощность поглощенной дозы облучения наземного моллюска *F. fruticum* M. с помощью международного пакета ERICA Tool, классического расчетного метода формулами Р. Левинджера, Л.Д. Марипелли и разработанного авторского алгоритма дозиметрического расчета на основе метода Монте-Карло. Продемонстрированы достоинства и недостатки каждого метода оценок. При оценке мощности поглощенной дозы облучения наземного моллюска учитывались все возможные сценарии облучения: сценарий самооблучения, сценарий обитания моллюска на поверхности почвы, сценарий облучения моллюска в состоянии анабиоза, сценарий облучения моллюска от крапивы при обитании на растительности в вегетационный период. Определены критические нагрузки при анализе зависимости «мощность дозы облучения моллюска *F. fruticum* M. – изменение морфологических показателей моллюска». В качестве морфологических показателей животного рассматривались: высота раковины, масса раковины моллюска и масса всего организма. Установлено достоверное изменение высоты раковины моллюска при увеличении мощности поглощенной дозы облучения. Определена критическая нагрузка при анализе зависимости «мощность дозы облучения моллюска *F. fruticum* M. – изменение уровня белков-МТ в мягких тканях моллюска». Показано, что уровень белков-МГ в мягких тканях наземного моллюска может рассматриваться в качестве референтного показателя для оценки радиационного экологического риска.

В седьмой главе проведена оценка радиационного экологического риска по критическим нагрузкам. На основании превышения величины критических нагрузок были

построены функции риска – функции распределения площади по содержанию ^{90}Sr в почве/крапиве или мощности поглощенной дозы облучения моллюска. Построенные функции риска позволили получить вероятность (риск) превышения критических нагрузок, т.е. вероятность развития негативных изменений в исследуемой наземной экосистеме. При этом отмечено превышение критической нагрузки на более, чем 95% исследуемой территории для показателя КН. В свою очередь не отмечено превышение критических нагрузок относительно показателя 95% площади по показателям каталазной активности, высоты раковины наземного моллюска и уровня белков-МТ. Приведен анализ неопределенностей в оценке радиационного экосистемного риска.

В восьмой главе представлен сравнительный анализ радиационного воздействия на биоту и население при аварийных ситуациях. При оценке дозовых нагрузок и радиационного риска для населения на основе методики МАГАТЭ, рассматривалось два возможных сценария разрушения защитных барьеров и утечки радионуклидов в окружающую среду: «утечка жидкости» и сценарий «пресусpenзия пыли». Установлено, что значение суммарного радиационного риска для здоровья населения при реализации рассмотренных сценариев выше уровня пренебрежимого риска для населения. Проведена сравнительная оценка дозовых нагрузок на человека и биоту при авариях на основе широко используемых в радиоэкологических исследованиях индексов радиационного воздействия RIF. Анализ воздействия радиоактивно загрязненной территории на человека и биоту посредством сравнения RIF позволил выявить, что наземный моллюск *F. fruticum* M. подвергается большему радиационному воздействию, чем человек.

Положения, выносимые на защиту, отражают в обобщенном виде основные результаты диссертационного исследования. Выводы диссертации сформулированы в соответствии с поставленными задачами, обоснованно следуют из результатов работы и отражают основные ее положения. Работа является грамотным и логически завершенным трудом с реальными научными достижениями, научной и практической значимостью. Материалы, представленные в автореферате, полностью соответствуют таким, представленным в диссертации.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом

К достоинствам диссертации следует, во-первых, отнести разработку метода оценки радиационного экологического риска по критическим нагрузкам, который основан на экспериментальном обосновании реципиента воздействия, референтных видов и показателей; обосновании дозиметрического метода расчета мощности поглощенной дозы облучения референтного вида; установлении зависимостей «доза-эффект» для референтных показателей; определении критических нагрузок как предельно допустимых уровней воздействия; количественной оценки радиационного экологического риска для наземной экосистемы. Эффективность метода продемонстрирована при оценке экологического риска для конкретной территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению площадки захоронения РАО, с использованием комплекса референтных показателей.

В диссертационной работе дано научное обоснование использования наземного моллюска - улитка кустарниковая *F. fruticum* M. в качестве референтного вида в биологическом мониторинге при хроническом радиоактивном загрязнении ⁹⁰Sr наземной экосистемы, основанном на анализе морфологического показателя высоты раковины моллюска, коэффициента накопления радионуклида и уровня белков-МТ в мягких тканях.

На основе анализа рассчитанных индексов радиационного воздействия показано, что в идентичных радиоэкологических условиях наземный моллюск подвергается большему радиационному воздействию, чем человек, что указывает на необходимость дальнейшего обоснования экоцентрической концепции защиты окружающей среды в условиях повышенного радиационного фона.

Важным для радиобиологии и радиоэкологии результатом является демонстрация того, что радиационный экологический риск для наземной экосистемы, подвергшейся радиоактивному загрязнению, является приемлемым при учете критической нагрузки на каталазную активность почвы, высоту раковины и уровень белков-МТ в мягких тканях наземного моллюска и неприемлемым с учетом критической нагрузки на референтный показатель – КП ⁹⁰Sr раковинами моллюска.

В целом, можно сказать, что диссертация хорошо оформлена и является результатом добросовестного и тщательного исследования, в котором получены важные научные и практические результаты, необходимые для обеспечения радиационной безопасности биоты и человека.

В качестве вопросов, замечаний и рекомендаций отметим следующее:

Представленный автором метод оценки экологического риска в ходе выполнения диссертационной работы был достаточно хорошо отработан на одном виде наземных беспозвоночных и одном радионуклиде – ⁹⁰Sr, являющимся бета-излучателем. Насколько применим, по мнению докторанта, данный метод для других радиоэкологических ситуаций: экосистем, организмов, радионуклидов, например, альфа- и гамма- излучателей или их комбинированном воздействии? Не потребуется ли серьезная модернизация представленных подходов в каждом новом случае?

В табл. 8 представлены данные по содержанию естественных радионуклидов в почвах исследуемых участков и их сравнение с «фоном» и соответствующей ссылкой. По данным UNSCEAR (UN, Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000) средние для РФ значения ⁴⁰K составляют 520 Бк/кг, ²²⁶Ra – 27 Бк/кг, ²³²Th – 30 Бк/кг. Таким образом, полученные данные по ⁴⁰K и ²³²Th ниже среднероссийских примерно в два раза, а не соответствуют им как указано в табл. 8.

В табл. 1 обзора литературы автор приводит шкалу радиационных эффектов на биоту в зависимости от мощности дозы хронического облучения. Как соотносятся результаты по изменению высоты раковины моллюска от мощности поглощенной дозы, представленные на рис. 23 с данными табл. 1? Возможно ли, что на изменение высоты раковины повлияли помимо мощности дозы (особенно при низких уровнях воздействия) другие факторы и, как в этом случае, их можно учесть?

Автором для модельных расчетов мощности поглощенной дозы облучения наземного моллюска использован рекомендованный МАГАТЭ и широко используемый

программный пакет ERICA. Если, по мнению автора, в данной программе занижается результат оценки доз, почему не были использованы для расчетов другие программные продукты, например, RESRAD-BIOTA, ECOLEGO или др.? В чем принципиальное отличие разработанной автором модели от таковых, используемых в международных программных пакетах, например в ERICA?

Высказанные вопросы и замечания носят рекомендательный характер и не умаляют достоинства диссертационной работы Лаврентьевой Г.В.

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», представляемая на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальностям 1.5.1 – Радиобиология, является оконченной научно-квалификационной работой, которая вносит существенный вклад в решение *крупной народнохозяйственной проблемы* – обеспечение радиационной защиты биоты и экологической безопасности на радиоактивно загрязненных территориях.

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 специальностям 1.5.1 – Радиобиология.

Главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агробиологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)

доктор биологических наук,
профессор РАН

Алексей Панов

Подпись А.В. Панова верна



Панов Алексей Валерьевич

Ученый секретарь
ФГБНУ ВНИИРАЭ
к.б.н. С.И. Санжарова

249032, Калужская область,
г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
ФГБНУ ВНИИРАЭ
Тел. (484)399-69-59
E-mail: riar@mail.ru