

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института экологии  
растений и животных УрО РАН  
д.б.н. М.Г. Годоватин

«24» августа 2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Эдомской Марии Александровны  
«Закономерности распределения плутония в почвенно-растительном покрове зон  
влияния радиационно-опасных объектов», представленной на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук  
по специальности 1.5.1.– «Радиобиология»

### Актуальность избранной темы

Диссертация Эдомской М.А. посвящена решению важных проблем радиобиологии и радиоэкологии – анализу данных об уровнях глобальных выпадений изотопов плутония на территории Российской Федерации, а также выявлению закономерностей их распределения в почвах и растениях в зонах влияния радиационно-опасных объектов. Актуальность темы определяется тем, что на планете существуют обширные зоны, загрязненные техногенными радионуклидами, и вероятность появления их в будущем не исключается. Большинство работ посвящено исследованию процессов накопления реперных радионуклидов –  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , гораздо меньше внимания уделяется исследованию изотопов плутония. Недостаток первичных данных по содержанию плутония в окружающей среде отмечается не только на территории РФ, но и в мире в целом. Учитывая, что плутоний является высокотоксичным радиоактивным элементом, имеет большой период полураспада, а анализ соотношений радионуклидов в выпадениях несет ценную информацию об источниках их поступления, значимость и актуальность проведенных исследований высоки.

Тема диссертации полностью соответствует паспорту заявленной научной специальности – 1.5.1. «Радиобиология», которая включает направление 13 «Радиационная экология»: изучение закономерностей поведения радиоактивных веществ в окружающей среде. Последствия ядерных аварий и катастроф, чрезвычайных ситуаций. Принципы и методы радиационного мониторинга. Методы реабилитации и ведения хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. Миграция радионуклидов». Работа выполнена строго в рамках избранной темы, и соответствует поставленным целям и задачам. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

### Достоверность и новизна результатов и выводов работы

М.А. Эдомская провела подробный анализ литературных данных по выбранной теме, собрала и проанализировала обширный материал из природных экосистем разных зон по уровням загрязнения почв и растений изотопами плутония, выполнила экспериментальные работы по изучению накопления плутония сельскохозяйственными (с/х) растениями в зависимости от видовых особенностей и условий обитания. Методология исследований обоснована. Решение задач проведено с использованием высококлассного оборудования и современных аналитических методов, прошедших верификацию. Все это обеспечивает высокую достоверность результатов и выводов.

Впервые проведена оценка уровня глобальных выпадений изотопов плутония на территории Восточно-Европейской равнины с использованием стандартных образцов почвы из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова.

Исследованы зоны влияния некоторых радиационно-опасных объектов: 1) Белоярская и Билибинская АЭС; 2) территории, прилегающие к бывшему хранилищу радиоактивных отходов (РАО) в г. Обнинске; 3) территории, подвергшиеся воздействию аварийных выбросов Чернобыльской АЭС в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЗ) и в Калужской области. Получены уникальные количественные показатели накопления изотопов плутония в почвах, травянистых, кустарниковых и древесных растениях в исследованных зонах.

Впервые в ходе вегетационных опытов установлены уровни изменчивости коэффициентов накопления (КН) плутония для с/х культур. Изучены возможные причины этой вариабельности: тип почвы, влажность почвы, видовые различия, а также впервые проанализирована внутрисортная изменчивость на примере бобов сорта «Янтарный».

#### **Личный вклад соискателя**

М.А. Эдомская принимала непосредственное участие в формулировке целей и задач исследований, в сборе образцов, в планировании и проведении экспериментов, а также выполняла анализы по оценке содержания плутония в отобранных образцах (более 500 проб). Автор самостоятельно проводила статистическую обработку результатов, участвовала в обобщении и интерпретации данных, подготовке публикаций и в представлении результатов на научных конференциях.

По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе 6 статей, входящих в перечень ВАК, реферативные базы данных Web of Science, Scopus, РИНЦ. Содержание диссертации соответствует опубликованным работам. Основные результаты апробированы автором на 10 международных тематических конференциях.

#### **Научная и практическая значимость работы**

Научная значимость работы обусловлена анализом обширных данных, показавших основные закономерности накопления и распределения изотопов плутония в почвах и растениях, а также роль факторов окружающей среды, влияющих на эти процессы. КН плутония растениями могут использоваться в качестве параметров математических моделей для расчета его поступления в с/х продукцию. КН плутония разными частями деревьев расширяют фундаментальные знания о закономерностях его накопления древесными растениями.

Установленные в ходе исследования уровни глобальных выпадений изотопов плутония на территории Восточно-Европейской равнины являются основой для определения масштабов загрязнения разных регионов России.

Количественные данные по содержанию изотопов плутония в почвенном и растительном покрове являются базовыми характеристиками радиоэкологического состояния зон влияния Белоярской и Билибинской АЭС, территорий Полесского заповедника, а также территории, прилегающей к бывшему хранилищу РАО, в г. Обнинске. Эти данные могут быть использованы при разработке систем мониторинга зон влияния радиационно-опасных объектов. Полученные результаты создают научную основу для прогноза использования радиоактивно загрязнённых территорий, а также для разработки

российских и международных нормативных документов по радиационной безопасности населения и природных экосистем.

### **Структура и объём диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы из 180 наименования, в том числе 75 зарубежных. Материалы диссертации изложены на 163 страницах машинописного текста, включает 20 рисунков и 37 таблиц.

Во ВВЕДЕНИИ обсуждаются актуальность и степень разработанности темы, формулируются цель и задачи исследования, описывается его научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость. Кратко изложены методология и методы исследований, отмечено соответствие диссертации выбранной специальности. Здесь же представлены положения, выносимые на защиту, апробация результатов и личный вклад автора в выполнение работы.

Глава I «ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ». На основе анализа отечественной и зарубежной литературы автор дает физико-химическую характеристику основных изотопов плутония, рассматривает источники поступления Pu в биосферу. Приведены уровни загрязнения почв Pu в разных странах Северного и Южного полушарий, а также данные о вертикальном распределении изотопов Pu в почвах и накоплении их растениями. Приведены немногочисленные данные о влиянии условий окружающей среды на накопление плутония.

Глава II «МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ». В главе подробно описаны апробированные полевые методы отбора проб почв и растений, а также сертифицированные лабораторные методы по определению содержания изотопов плутония в отобранных образцах. Пробоподготовка и разложение образцов были модифицированы с целью сокращения времени разложения, увеличения массы проб, а также для снижения их перекрестного загрязнения. Модифицированная методическая схема была оформлена в виде инструкции «Определение удельной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях». Верификация результатов (в ФГБНУ ВНИИРАЭ и РГП ИЯФ) показала удовлетворительную воспроизводимость данных. Оценка накопления плутония с/х культурами, а также исследование факторов, влияющих на распределение изотопов, были выполнены в ходе хорошо спланированных вегетационных экспериментов.

### **Глава 3. СОДЕРЖАНИЕ ПЛУТОНИЯ В ПОЧВАХ**

В работе было исследовано 58 стандартных образцов разных типов почв, собранных в разных почвенно-климатических зонах в 1978 – 2018 гг. из научной коллекции ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова. Анализ содержания  $^{239+240}\text{Pu}$  в этих образцах позволил авторам установить средний уровень плотности загрязнения почв для территории Восточно-Европейской равнины в  $55 \pm 26$  Бк/м<sup>2</sup> (средняя концентрация  $0,18 \pm 0,09$  Бк/кг). По литературным данным эти величины близки к глобальным выпадениям изотопов Pu для Северного полушария (65 Бк/м<sup>2</sup>).

Изучено содержание и распределение изотопов плутония в почвах зон влияния некоторых радиационно-опасных объектов. Диапазон концентраций  $^{239+240}\text{Pu}$  в образцах почв 5 км зоны влияния Билибинской АЭС составляет 0,58–34,0 Бк/кг. Данные уникальны, поскольку мониторинг загрязнения арктической зоны ранее проводился в основном по  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

В почвах 30-км зоны влияния Белоярской АЭС содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  составило 0,1–2,9 Бк/кг. Диапазон концентрации  $^{239+240}\text{Pu}$  в почвах вблизи Ольховской болотно-речной системы (место сброса слаборадиоактивных вод в первые годы эксплуатации АЭС) составляет <0,1–33 Бк/кг, а в донных отложениях <0,1–26 Бк/кг. Выполнено сравнение полученных результатов с литературными данными.

Исследования автора в зоне ПГРЗ показали, что концентрации  $^{239+240}\text{Pu}$  варьируют в пределах 1,8–141 Бк/кг, а  $^{238}\text{Pu}$  в пределах <0,82–55 Бк/кг. Среднее значение изотопного соотношения  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  для рассматриваемой территории составляет 0,35, что свидетельствует о существенном превышении  $^{238}\text{Pu}$  в почвах по сравнению с его присутствием в глобальных выпадениях, равном от 2 до 5 % от  $^{239+240}\text{Pu}$ .

Плотность загрязнения почв  $^{239+240}\text{Pu}$  в Калужской области составляет 24–80 Бк/м<sup>2</sup>, что позволило автору считать выявленные количества Pu глобальными выпадениями.

Исследование территории, прилегающей к хранилищу РАО вблизи г. Обнинска, показало, что в пределах 50 м зоны от границы среднее содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  оценивается в 6,7 Бк/кг. За пределами этой зоны концентрация Pu резко снижается до фоновых значений. Установлено нетипичное вертикальное распределение плутония по почвенному профилю (до глубины 95 см), которое указывает на его поступление с грунтовыми водами.

#### Глава 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЕ ПЛУТОНИЯ РАСТЕНИЯМИ

Автор приводит собственные данные о накоплении изотопов плутония растениями вблизи Билибинской АЭС, концентрации в растениях были меньше предела обнаружения. Проведено сравнение результатов автора с имеющимися данными по накоплению плутония разнотравьем в зоне влияния Белоярской АЭС, КН оцениваются в  $<n \cdot 10^{-3}$ . В Калужской области (зона дальних чернобыльских выпадений) КН в разнотравье составили в среднем  $2,9 \cdot 10^{-2}$ . На территории ПГРЗ (зона ближних чернобыльских выпадений) исследовано накопление  $^{239+240}\text{Pu}$  в шишках сосны обыкновенной, КН в среднем составили  $1,0 \cdot 10^{-4}$ .

На территории, прилегающей к хранилищу РАО, исследовали накопление  $^{239+240}\text{Pu}$  разными видами травянистых растений, деревьев и кустарников, выделяли надземные части растений и корни. Показана межвидовая изменчивость КН плутония, отмечены индикаторные виды (накопители и дискриминаторы). Выявлены особенности накопления Pu разными органами и тканями деревьев и кустарников, которые подтверждают ранее установленные закономерности, листья накапливают больше, чем ветки и стволы, а КН в древесине меньше, чем в коре.

Вегетационные опыты проведены для изучения закономерностей накопления плутония с/х растениями. Использовали 4 типа почв и 2 вида растений. КН  $^{239+240}\text{Pu}$  в надземных частях бобов и ячменя зависят от типа почв. Максимальные и минимальные значения различались в ~30 раз. Зависимость КН плутония корнями бобов от типа почв не выявлено, а для ячменя выстраивается ряд: серая лесная пылевато-суглинистая > чернозем типичный тяжелосуглинистый > болотная торфяная низинная.

Зависимости влияния влажности почв на накопление Pu были неодинаковы для разных видов растений и их органов. Так, для надземной части ячменя с увеличением влажности почвы на порядок увеличивается КН, а для бобов и лука наблюдается обратная зависимость. Для корней изученных культур зависимости КН плутония от влажности почв не обнаружено. Автор подробно рассматривает возможные причины этих феноменов.

Проанализирована вариативность накопления плутония разными видами с/х растений (7 видов). КН  $^{239+240}\text{Pu}$  в надземных частях этих видов различаются несущественно, а наиболее загрязненными являются корни. Интересны оценки накопления плутония внутри одного сорта (бобы сорта «Янтарные»). Индивидуальные особенности растений проявились в широком диапазоне изменчивости разных морфологических показателей, а также КН ( $1,6 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-1}$ ). Однако корреляции значений КН и массы сухих растений не выявлено, т.е. нарастание массы растений не влияет на величину КН.

Глава 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКОПЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ РАСТЕНИЯМИ В главе приведено сравнение полученных автором КН плутония с данными, приведенными в литературных источниках. Сравнение это во многих случаях условно, поскольку факторы окружающей среды, обстоятельства загрязнения почвенно-растительного покрова, методы сбора материала существенно отличаются. Анализ показывает недостаточность данных для оценки уровней загрязнения плутонием территории РФ, вклад автора в решение этой проблемы является существенным.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В этом разделе подведены краткие итоги работы, подчеркнуты новизна полученных данных и перспективы дальнейших исследований.

**ВЫВОДЫ.** Необходимо отметить высокую степень достоверности каждого из восьми выводов, которая обусловлена большим объемом фактического материала, его адекватной обработкой и детальным анализом результатов с учетом литературных данных.

#### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1. В литературном обзоре слабо представлены статьи, характеризующие загрязнение плутонием территории России. В то время как таких работ немало, например: работы Ф.И. Павлоцкой с соавторами по определению уровня загрязнения Pu территории СССР (Павлоцкая и др., 1985), территории Якутии (Горяченкова и др. 2017; Собакин и др., 2019), территории Урала и Дальнего востока (Aarkrog et al, 1997; Михайловская и др., 2005; 2006; 2007; Позолотина и др., 2008; Molchanova et al, 2014; Mikhailovskaya et al, 2017) и многие другие. Кроме того НПО Тайфун выпускает ежегодники «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств», «Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$   $^{239+240}\text{Pu}$ ». В большинстве работ приводится сравнение с условно фоновым уровнем загрязнения в регионе, в некоторых случаях вычленяется доля глобальных выпадений по соотношению  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ . Данные о региональном фоне важны, поскольку отражают реальную ситуацию по радиоактивному загрязнению территории РФ.

Утверждение, что данные по Тоцкому полигону отсутствуют, неверно (стр. 27). Имеются работы: Русанов, и др., 1996; Отдаленные эколого-генетические последствия радиационных инцидентов: Тоцкий ядерный взрыв. Под. ред. А.Г. Васильева, 2000; Молчанова, Караваева, Эколого-геохимические аспекты миграции..., 2001.

2. В работе используются два способа оценки происхождения Pu: сравнение с имеющимися данными и оценка изотопного состава. Конечно, уровень загрязнения плутонием обследованных территорий можно сравнивать с уже имеющимися данными для разных регионов и с большой степенью вероятности считать его глобальным, если вблизи нет других возможных источников загрязнения. На рис. 6 не отмечено расположение ядерных объектов на территории РФ. Автор упоминает, что глобальные выпадения характеризуются содержанием  $^{238}\text{Pu}$  2–5%, но не всегда это использует. Уровень

глобальных выпадений  $^{239+240}\text{Pu}$  в Северном полушарии может составлять от единиц до сотен Бк/м<sup>2</sup>. Такие же уровни могут быть и в зонах влияния ядерных предприятий. В таких случаях определить вклад выбросов действующего предприятия можно только по соотношению изотопов плутония.

3. В работе рассматриваются концентрации в разных слоях почв от 2 до 20 см, что очень затрудняет сравнительный анализ.

4. Не всегда понятно, для какого слоя почвы брали концентрацию плутония при расчете коэффициентов накопления (стр. 93-97).

Имеются неточности в тексте, например:

на стр. 32 «В 1966 г при дозаправке в воздухе над Средиземным морем в районе селения Паломарес, Испания, столкнулись бомбардировщик В-52 и танкер-заправщик КС-135. В результате их падения на землю взорвались 2 бомбы...». Бомбы не взорвались, а разрушились, в них не было взрывателя. Это большая разница.

На стр. 43. Перечислены сем. астровые и сложноцветные, тогда как это одно и тоже семейство.

Желательно принять во внимание данные статьи о КН изотопов Pu растениями в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (Karimullina et al., 2018).

Русские названия вида растений пишутся с маленькой буквы. Стр. 99. *Populus tremula* - тополь дрожащий, чаще называется по-русски осина.

Отмеченные замечания не умаляют значимости работы и будут способствовать развитию этого направления исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учитывая актуальность исследуемой проблемы, большой объем экспериментальных исследований, научную и практическую значимость полученных результатов, следует заключить, что диссертационная работа Эдомской Марии Александровны является законченной научно-квалификационной работой, которая, несомненно, отвечает критериям 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор – **Эдомская Мария Александровна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. «Радиобиология».

Отзыв составили:

1. Михайловская Людмила Николаевна,  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории общей радиозэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН  
Адрес: 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
e-mail: [mila\\_mikhaylovska@mail.ru](mailto:mila_mikhaylovska@mail.ru)

2. Позолотина Вера Николаевна,  
доктор биологических наук, заведующая лабораторией популяционной радиобиологии ИЭРиЖ УрО РАН,  
Адрес: 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202 Тел. (343) 210-38-58 доб. 118  
e-mail: [pozolotina@ipae.uran.ru](mailto:pozolotina@ipae.uran.ru)

Результаты диссертации обсуждены и одобрены на заседании расширенного семинара лаборатории популяционной радиобиологии, протокол № 2 от 24 августа 2023 г.

Позолотина Вера Николаевна

Заведующая лабораторией популяционной радиобиологии

ИЭРиЖ УрО РАН, доктор биологических наук

Адрес: 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Тел. (343) 210-38-58 доб. 118

e-mail: [pozolotina@ipae.uran.ru](mailto:pozolotina@ipae.uran.ru)

Сайт [https://ipae.uran.ru/Pozolotina\\_VN](https://ipae.uran.ru/Pozolotina_VN)

