

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
Решение диссертационного совета от «18» июня 2025 г. № 153

О присуждении Желтоножской Марине Викторовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Новые методические подходы к определению активности радионуклидов, распадающихся без испускания гамма-излучения, для решения задач радиационного мониторинга» по специальности 1.5.1 Радиобиология (физико-математические науки) принята к защите диссертационным советом 09 апреля 2025, протокол № 149.

Соискатель Желтоножская Марина Викторовна 1972 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование вертикальной миграции радионуклидов в ближней зоне ЧАЭС с использованием нерадиохимических методов» защитила в 2008 году, в диссертационном совете, созданном на базе Института проблем безопасности АЭС Национальной академии наук Украины.

Соискатель работает старшим научным сотрудником кафедры физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор **Черняев Александр Петрович**, заведующий кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Мамихин Сергей Витальевич, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет почвоведения, ведущий научный сотрудник кафедры радиозэкологии и экотоксикологии;

Крышев Иван Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун»» Росгидромета, Институт проблем мониторинга окружающей среды, главный научный сотрудник;

Бушманов Андрей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, первый заместитель генерального директора -

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Мамихин Сергей Витальевич

является ведущим специалистом в области радиоэкологических исследований (исследование процессов миграции радионуклидов в наземных и водных экосистемах, проведение оценок дозовых нагрузок на биоту), а также в области применения информационно-вычислительных технологий в экологии. Крышев Иван Иванович – широко известный в стране и в мировом сообществе специалист в области статистической механики экосистем, математического моделирования и радиоэкологического мониторинга экосистем в регионе АЭС, общих проблем радиобиологии и радиоэкологии. Бушманов Андрей Юрьевич – ключевой эксперт в области медицинских последствий радиационных аварий, включая аварию на Чернобыльской АЭС. Его работы фокусируются на диагностике, лечении и профилактике лучевых поражений, а исследования опираются на данные дозиметрического контроля для оценки рисков и разработки клинических рекомендаций для защиты работников атомной отрасли. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой работы.

Соискатель имеет 131 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 40 работ, из них 21 статья, опубликованная в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus и входящие в ядро РИНЦ, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.5.1 Радиобиология (физико-математические науки):

1. **Zheltonozhskaya M.V.** Non-destructive method for determining the ^{63}Ni activity in reactor steels and alloys / **M.V. Zheltonozhskaya**, D.A. Iyusyuk, A.P. Chernyaev, T. Kovacs // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2024. – Vol. 333, no. 5. – P. 2529–2536. (JIF 1,5; 0,7 п.л./85%)
2. **Zheltonozhskaya M.V.** Determination of the activity of long-lived ^{41}Ca in reactor biological shielding materials by photoactivation method / **M.V. Zheltonozhskaya**, Y.O. Balaba, D.A. Iyusyuk, N.V. Kuzmenkova, A.P. Chernyaev // Physics of Atomic Nuclei. – 2024. – Vol. 87, no. 3. – P. 344–351. (JIF 0,3; 0,6 п.л./85%)
3. Remizov P.D. Measurements of the flux-weighted yields for (γ , αn) reactions on molybdenum and niobium // P.D. Remizov, **M.V. Zheltonozhskaya**, A. P. Chernyaev, V. V. Varlamov // European Physical Journal A. – 2023. – Vol. 59, no. 6. – article number 141. (JIF 2,6; 0,6 п.л./55%)
4. **Zheltonozhskaya M.V.** Study of photonuclear reactions with the alpha particles' emission on zirconium, niobium, and molybdenum / **M.V. Zheltonozhskaya**, P.D. Remizov, A.P. Chernyaev // Applied Radiation and Isotopes. – 2023. – V. 199. article number 110871. (JIF 1,6; 0,4 п.л./85%)
5. **Желтоножская М.В.** Фотоактивационный подход к определению долгоживущих изотопов никеля в конструкционных материалах АЭС / **М.В. Желтоножская**, А. П. Черняев, Д. А. Юсюк, Ю.О. Балаба // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 2. – С. 101–109. (РИНЦ 0,562; 0,7 п.л./85%)
Zheltonozhskaya M.V. Photoactivation approach to the determination of long-lived nickel isotopes in NPP structural materials / **M.V. Zheltonozhskaya**, A.P. Chernyaev, D. A. Yusyuk, Y.O. Balaba // Instruments and Experimental Techniques. – 2023. – Vol. 66, no. 2. – P. 285–292 (JIF 0,4; 0,7 п.л./85%)
6. **Zheltonozhskiy V.A.** Investigation of radionuclide migration at sites adjacent to the 30-km exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant / V.A. Zheltonozhskiy, **M.V. Zheltonozhskaya**, D.E. Myznikov, M.D. Bondarkov, E.B. Farfán // Health Physics. – 2022. – Vol. 122, no. 4. – P. 502–507. (JIF 1,0; 0,5 п.л./55%)
7. **Zheltonozhsky V.A.** Spectroscopy of radiostrontium in fuel materials retrieved from the Chernobyl nuclear power plant / V.A. Zheltonozhsky, **M.V. Zheltonozhskaya**, M.D. Bondarkov, E.B. Farfán // Health Physics. – 2021. – Vol. 120, no. 4. – P. 378–386. (JIF 1,0; 1,0 п.л./55%)
8. **Zheltonozhsky V.A.** Determination of the long-lived ^{10}Be in construction materials of nuclear power plants using photoactivation method / V.A. Zheltonozhsky, D.E. Myznikov, V.I. Slisenko, **M.V. Zheltonozhskaya**, A.P. Chernyaev // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 227. – article number 106509. (JIF 1,9; 0,6 п.л./45%)
9. **Желтоножская М.В.** Разработка метода обработки сложных рентгеновских и гамма-спектров в низкоэнергетической области / **М.В. Желтоножская**, В.А. Желтоножский, Д. Е. Мызников, А.Н. Никитин, Н.В. Стрильчук, В.П. Хоменков // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2021. – Т. 85, № 10. – С. 1446–1451. (РИНЦ 0,638; 0,4 п.л./85%)
Zheltonozhskaya M.V. Developing a way of processing complex X-ray and gamma spectra in the range of low energies / **M.V. Zheltonozhskaya**, V.A. Zheltonozhsky, D.E. Myznikov, A.N. Nikitin, N.V. Strilchuk, V.P. Khomenkov // Bulletin of the Russian

Academy of Sciences: Physics. – 2021. – Vol. 85, no. 10. – P. 1122–1127. (SJР 0,21; 0,4 п.л./85%))

10. **Zheltonozhskaya M.V.** The plutonium isotopes and strontium-90 determination in hot particles by characteristic X-rays / **M.V. Zheltonozhskaya**, V.A. Zheltonozhsky, I.E. Vlasova, N.V. Kuzmenkova, S.N. Kalmykov // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020. – Vol. 225. – article number 106448. (JIF 1,9; 0,8 п.л./85%)

11. **Zheltonozhskaya M.V.** Study of the Chernobyl fallout in 30-km zone after construction of the confinement / **M.V. Zheltonozhskaya**, N.V. Kulich, D.E. Myznikov, V.I. Slisenko // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2019. – Vol. 20, no. 3. – P. 258–264. (JIF 0,4; 0,4 п.л./85%)

12. Tugay A.V. Radial growth and activity of antioxidant enzymes in the three post radiation Cladosporium Cladosporioides generations / A.V. Tugay, T.I. Tugay, V.A. Zheltonozhsky, **M.V. Zheltonozhskaya**, L.V. Sadovnikov, G.V. Ponomarenko, O.B. Polischuk // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2017. – Vol. 18, no. 1. – P. 72–80. (JIF 0,4; 0,8 п.л./30%)

13. Bondarkov D.M. Studies of radionuclides behavior on heavily contaminated 5-km zone of ChNPP / D.M. Bondarkov, I.M. Vyshnevskiy, V.O. Zheltonozhskiy, **M.V. Zheltonozhskaya**, P.M. Muzalev // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2016. – Vol. 17, no. 4. – P. 381–387. (JIF 0,4; 0,5 п.л./30%)

14. **Zheltonozhskaya M.V.** Spectrometry of ⁹⁰Sr in fuel-containing materials / **M.V. Zheltonozhskaya** // Nuclear and radiation safety. – 2014. – Vol. 3, no. 63. – P. 48–51. (SJР 0,22; 0,4 п.л./100%)

15. Желтоножский В.А. Исследование радионуклидного состава топливных частиц, отобранных внутри 4-го блока ЧАЭС / В.А. Желтоножский, **М.В. Желтоножская**, Н.В. Кулич // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2012. – Т. 76, № 10. – С. 1231–1234. (РИНЦ 0,638; 0,3 п.л./45%) (Zheltonozhskii V.A. Studies of the radionuclide content of fuel particles sampled from the Chernobyl nuclear power plant's no. 4 reactor unit / V.A. Zheltonozhskii, **M.V. Zheltonozhskaya**, N.V. Kulich // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2012. – Vol. 76, no. 10. – P. 1106–1108. (SJР 0,21; 0,3 п.л./45%))

16. Tugay T.I. Effects of ionizing radiation on the antioxidant system of microscopic fungi with radioadaptive properties found in the Chernobyl exclusion zone / T.I. Tugay, **M.V. Zheltonozhskaya**, L.V. Sadovnikov, A.V. Tugay, E.B. Farfán // Health Physics. – 2011. – Vol. 101, no. 4. – P. 375–382. (JIF 1,0; 0,7 п.л./55%)

17. Bondarkov M.D. Assessment of the radionuclide composition of “hot particles” sampled in the Chernobyl nuclear power plant fourth reactor unit / M.D. Bondarkov, V.A. Zheltonozhsky, **M.V. Zheltonozhskaya**, N.V. Kulich, A.M. Maksimenko, E.B. Farfán, G.T. Jannik, J.C. Marra // Health Physics. – 2011. – Vol. 101, no. 4. – P. 368–374. (JIF 1,0; 0,6 п.л./45%)

18. Bondarkov M.D. Vertical migration of radionuclides in the vicinity of the Chernobyl confinement shelter / M.D. Bondarkov, V.A. Zheltonozhsky, **M.V. Zheltonozhskaya**, N.V. Kulich, A.M. Maksimenko, E.B. Farfán, G.T. Jannik, J.C. Marra // Health Physics. – 2011. – Vol. 101, no. 4. – P. 362–367. (JIF 1,0; 0,5 п.л./40%)

19. Желтоножский В.А. Исследование радионуклидного состава фрагментов лавовых топливосодержащих материалов из 4 энергоблока ЧАЭС/ В.А. Желтоножский, **М.В. Желтоножская**, Н.В. Кулич, М.Д. Бондарьков, А.М. Максименко, Э.М. Пазухин // Радиохимия. – 2011. – Т. 53, №5. – С. 465–469. (РИНЦ 0,739; 0,4 п.л./45%) (Zheltonozhskii V.A. Radionuclide composition of fragments of lava-like fuel-containing materials from the ChNPP fourth unit / V.A. Zheltonozhskii, **M.V. Zheltonozhskaya**, N.V. Kulich, Bondarkov M.D., Maksimenko A.M., Pazukhin E.M. // Radiochemistry. – 2011. – Vol. 53, no. 5. – P. 550–554. (JIF 0,9; 0,4 п.л./45%))

20. Бондарьков М.Д. Радиоактивность в технологических отходах АЭС / М.Д. Бондарьков, А.М. Максименко, И.Н. Вишнеvский, В.А. Желтоножский, **М.В. Желтоножская**, Л.В. Садовников, С.В. Ильичев, В.В. Боярищев // Извeстия Российской академии наук. Серия физическая. – 2009. – Т. 73, №2. – С. 279–282. (РИНЦ 0,638; 0,3 п.л./30%) Bondar'kov M.D. Radioactivity in technological NPP waste / M.D. Bondar'kov, A.M. Maksimenko, I.N. Vishnevskii, V.A. Zheltonozhskii, **M.V. Zheltonozhskaya**, L.V. Sadovnikov, S.V. Il'ichev, V.V. Boyarishchev // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2009. – Vol. 73, no. 2. – P. 266–269. (SJР 0,21; 0,3 п.л./30%))

21. Бондарьков М.Д. Исследование активности графита из реактора ЧАЭС / М.Д. Бондарьков, Д.М. Бондарьков, А.М. Максименко, В.А. Желтоножский, **М.В. Желтоножская**, В.В. Петров, А.И. Савин // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2009. – Т. 73, № 2. – С. 274–278. (РИНЦ 0,638; 0,3 п.л./30%) (Bondar'kov M.D. Activity study of graphite from the Chernobyl NPP reactor / M.D. Bondar'kov, D.M. Bondar'kov, A.M. Maksimenko, V.A. Zheltonozhskii, **M.V. Zheltonozhskaya**, V.V. Petrov, A.I. Savin // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2009. – Vol. 73, no. 2. – P. 261–265. (SJР 0,21; 0,3 п.л./30%))

На автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой

степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, предложены новые научно-обоснованные методические подходы для определения активности радионуклидов, распадающихся без испускания гамма-излучения. Соискателем разработаны новые неразрушающие методические подходы и методы радиационного мониторинга экосистем на поздней фазе радиационной аварии, в том числе, новые подходы к измерению содержания радиоизотопов $^{238-240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr , не требующие процедур радиохимического анализа, метод одновременного определения активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в образцах почв и *in vivo* в организмах мелких животных. Предложен новый подход и разработан комплекс фотоактивационных методов по определению активности долгоживущих радионуклидов, распадающихся без испускания γ -квантов (^{10}Be , ^{36}Cl , ^{55}Fe , $^{59,63}\text{Ni}$, ^{93}Mo , ^{93}Zr) в облученных конструкционных материалах реакторов и радиоактивных отходах АЭС. На основе экспериментальных исследований с использованием разработанных методов изучены образцы почвы, донных отложений и биоты, отобранных на территориях, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Брянской области Российской Федерации, Гомельской области и Полесского государственного радиэкологического заповедника Республики Беларусь, Чернобыльской зоны отчуждения, и уточнены параметры вертикальной миграции техногенных радионуклидов в почвенных профилях территорий с разным уровнем радио-активного загрязнения. Проведены расчеты эффективных периодов получищения от техногенных радионуклидов чернобыльского происхождения для различных типов почв с использованием модифицированной модели вертикальной миграции радионуклидов, учитывающей конвективный перенос и диффузию. Впервые продемонстрирована роль почвенных микромицетов в разрушении горячих частиц различного состава на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. Изучены особенности накопления ^{90}Sr в мышевидных грызунах, обитающих на территориях с высоким уровнем загрязнения топливными выпадениями. Впервые получены данные о вкладе внешних электронов в суммарную дозу облучения мышевидных грызунов, обитающих на загрязненных топливными выпадениями территориях.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Новый методический подход к определению содержания в образцах изотопов $^{238-240}\text{Pu}$ по характеристическому излучению, сопровождающему распад этих изотопов при использовании полупроводниковых спектрометров с HPGe-детекторами с тонким входным окном позволяет определять их концентрацию с погрешностью 10–15% для образцов, содержащих топливные выпадения, с активностью более 100 Бк, и 20–30% для образцов с активностью менее 100 Бк, для ^{90}Sr точность предложенного подхода составляет 5% (для образцов с удельным содержанием $\geq 10^5$ Бк/образец) и 15–20% (при удельном содержании $\sim 10^2$ Бк/образец);
2. Разработанный метод одновременного определения в образцах активности ^{137}Cs и ^{90}Sr , основанный на измерении всего энергетического спектра β -частиц в образце, позволяет определять активность ^{90}Sr в гомогенных образцах почв, донных осадков с точностью 10–15%, а при проведении прижизненных измерений в мелких особях погрешность не превышает 20%;

3. Фотоактивационная методика определения активности ^{10}Be , ^{36}Cl , ^{41}Ca , $^{59,63}\text{Ni}$, ^{93}Mo , ^{93}Zr в конструкционных материалах реакторов и радиоактивных отходов АЭС в зависимости от массы и времени облучения исследуемых образцов и при условии использования полупроводниковых спектрометров с HPGe-детекторами позволяет определять их содержание с точностью $\sim 10^{-3}$ – 10^{-9} Бк/г.
4. Долгоживущие антропогенные радионуклиды чернобыльского выброса в минеральных почвах с нормальным водным режимом можно расположить в следующий ряд в соответствии с их миграционной подвижностью $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{154,155}\text{Eu} \sim$ изотопы Pu.
5. Периоды полураспада корнеобитаемых слоев (0–5 см) почв для долгоживущих антропогенных радионуклидов чернобыльского выброса в болотных минеральных глинисто-песчаных почвах составляют ~ 30 лет для ^{137}Cs и ^{90}Sr , ~ 55 – 75 лет для ^{241}Am и изотопов плутония. Аналогичные периоды для дерново-слабоподзолистых пылевато-песчаных почв составляют ~ 40 – 60 лет для ^{137}Cs и ^{90}Sr , ~ 55 – 65 лет для ^{241}Am и изотопов плутония.
6. Облученные поколения некоторых видов почвенных микромицетов разрушают горячие частицы чернобыльского происхождения. Штаммы вида *Cladosporium Cladosporioides* обладают наибольшей способностью к аккумуляции изотопов плутония и ^{241}Am из топливных частиц в мицелий, что может ускорять деструкцию топливных частиц.
7. Вклад внешнего β -излучения в суммарную дозу облучения мышевидных грызунов, обитающих на загрязненных территориях ближней 5-км зоны Чернобыльской АЭС сравним, либо превышает дозу, сформированную за счет внутреннего β -излучения.

Личный вклад соискателя также состоял в том, что она самостоятельно определила цели и разработала программу исследований. Все результаты, представленные в диссертации, получены лично соискателем. Материалы рукописи подготовлены на основе интерпретации и обобщения соискателем опубликованных материалов. Вклад автора в совместных публикациях – основополагающий.

На заседании 18 июня 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Желтоножской М.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.5.1 Радиобиология (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,

доктор биологических наук, профессор

_____/Максимов Г.В./

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат химических наук

_____/Северин А.В./

18.06.2025