



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБНУ ВНИИРАЭ,
чл. корр. РАН
Н.И. Санжарова
«25» мая 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

Диссертация «Исследование морфологических параметров и генетического полиморфизма в природных популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия» выполнена в лаборатории № 6 – радиобиологии и экотоксикологии сельскохозяйственных растений.

В период подготовки диссертации соискатель Макаренко Екатерина Сергеевна работала младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», в лаборатории радиобиологии и экотоксикологии сельскохозяйственных растений. В 2011 г. окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по специальности «Биоэкология». В 2013 г. окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки «020400 Биология». Диплом об окончании аспирантуры по направлению подготовки «06.06.01 Биологические науки» выдан в 2018 г. Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии».

Научный руководитель – Удалова Алла Александровна, Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», профессор отделения ядерной физики и технологий, доктор биологических наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Макаренко Е.С. является актуальным научным исследованием, посвящённым решению вопросов состояния биоты при радиационном воздействии, выполненным с использованием морфологических параметров хвои и пыльцы

и показателей генетического полиморфизма ДНК в природных популяциях сосны обыкновенной, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях. Диссертационная работа выполнена в соответствии с требованиями ВАК, имеет научную новизну, практическую и теоретическую значимость, имеет важное научное значение в области радиобиологии.

Актуальность темы исследования. Изучение особенностей формирования радиационно-индуцированных эффектов в популяциях растений, много лет произрастающих на радиоактивно загрязнённой территории, является важной научной задачей радиобиологии. На современном этапе развития радиационной биологии окружающей среды особое значение представляет изучение эффектов в популяциях сосны обыкновенной – референтного растения, рекомендованного Международной комиссией по радиационной защите для оценки радиационного воздействия на окружающую среду, – подвергающихся хроническому облучению с мощностью дозы около 100 мГр/год, которая рассматривается МКРЗ как граничный уровень безопасного воздействия на природные популяции. При всём многообразии радиобиологических исследований на сосне обыкновенной до сих пор уделялось мало внимания оценке флуктуирующей асимметрии (ФА) хвои, изучению аномалий пыльцы и генетического полиморфизма ДНК в условиях хронического радиационного воздействия. Совместное изучение данных показателей, относящихся к разным уровням иерархической организации, расширяет знания о фундаментальных механизмах обеспечения устойчивости живых систем. В целом, изучение последствий длительного обитания видов в условиях хронического стрессового воздействия имеет большое значение для понимания механизмов адаптации и эволюции природных популяций, что и обуславливает актуальность диссертационного исследования Макаренко Е.С.

Новизна и практическая значимость. Впервые в популяциях сосны обыкновенной, испытывающих разные уровни хронического низкодозового радиационного воздействия, изучены отдалённые биологические эффекты по морфологическим показателям пыльцы и хвои, генетическому полиморфизму ДНК в параллельных исследованиях. Показано отсутствие устойчивой зависимости длины и массы хвои, индекса флуктуирующей асимметрии по массе хвои от уровня радиационного воздействия в диапазоне мощностей доз 10-130 мГр/год. Впервые в условиях хронического низкодозового радиационного воздействия показано, что индекс флуктуирующей асимметрии, оценённый по длине хвои может возрастать при увеличении годовой поглощённой дозы, что свидетельствует о нарушении стабильности развития растений на радиоактивно загрязнённых территориях. Обнаружено наличие в импактных популяциях сосны обыкновенной брахибластов с тремя

хвоинками, в референтных популяциях данный морфоз отсутствовал. Установлена повышенная частота тератоморфных пыльцевых зёрен сосны обыкновенной, произрастающей в условиях хронического радиационного воздействия. Впервые в популяциях сосны обыкновенной при помощи метода оценки полиморфизма длины амплифицированных фрагментов (AFLP) показано, что среднее генетическое разнообразие на locus по Nei повышено на радиоактивно загрязнённых участках, а генетическая дифференциация популяций внутри географических групп согласуется с уровнем поглощённой в кронах сосны дозы. Практическая значимость полученных данных заключается в возможности их использования для совершенствования существующей системы контроля состояния окружающей среды на радиоактивно загрязнённых территориях.

Степень достоверности результатов проведённых исследований. Достоверность результатов подтверждается использованием современных методик и оборудования, достаточного объёма выборки и соответствующих методов статистической обработки, согласованности полученных результатов с литературными сведениями, публикацией материалов диссертационной работы в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science.

Специальность, которой соответствует диссертация. Диссертация соответствует специальности 03.01.01 «Радиобиология», а именно п. 10 – принципы и методы радиационного мониторинга, п. 11 – отдалённые последствия действия излучений, хроническое действие радиации, особенности биологического действия малых доз облучения.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Автор принимала непосредственное участие в постановке цели и задачи исследования, осуществляла планирование и выполнение экспериментальной части работы, включающее отбор проб на радиоактивно загрязнённых территориях и лабораторные исследования биологических показателей, проводила статистическую обработку и интерпретацию полученных данных, установила закономерности формирования радиационно-индуцированных эффектов, представляла результаты в российских и международных журналах и на конференциях.

Ценность научной работы соискателя подтверждается использованием результатов исследования при выполнении работ, поддержанных грантом РФФИ № 11-04-00670 «Исследование механизмов адаптации популяций растений к техногенному воздействию»; грантом РФФИ № 12-04-97550 «Изучение закономерностей формирования биологических эффектов в природных популяциях сосны обыкновенной на территории России в

отдалённый период после Чернобыльской аварии»; грантом Российского научного фонда № 14-14-00666 «Анализ механизмов адаптации популяций растений к техногенному воздействию».

Результаты исследований, полученные соискателем, неоднократно были отмечены грамотами и дипломами на конференциях (Техногенные системы и экологический риск, г. Обнинск; Ломоносов-2015, г. Москва; Генетическая токсикология, г. Санкт-Петербург; Atom Future 2017 – Будущее атомной энергетики, г. Обнинск). Благодаря результатам диссертационной работы, соискатель стала победителем IX городского конкурса стипендий для студентов, аспирантов и молодых преподавателей ВУЗов, награждена областной стипендией имени А.Л. Чижевского и наградой Калужской области «Почетный знак им. Е. Р. Дашковой», стала победителем конкурсов на соискание целевых премий для молодых учёных и аспирантов ФГБНУ ВНИИРАЭ за лучшие научные и перспективные исследования и публикации в высокорейтинговых журналах, стала лауреатом IV Международного конкурса научных работ в области радиэкологии им. В.М. Ключковского.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Материалы диссертации полностью изложены в статьях научных журналов, тезисах докладов и докладах на научных конференциях, в отчётах по грантам РФФИ № 11-04-00670 и № 12-04-97550, Российского научного фонда (проект 14-14-00666). Материал диссертации изложен в 27 печатных работах, объёмом 9 печатных листов, в том числе 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Makarenko, E.S.** Study of needles morphometric indexes in Scots pine in the remote period after the Chernobyl accident / **E.S. Makarenko**, A.A.Oudalova, S.A. Geras'kin // Radioprotection. – 2016. – V. 51. – №. 1. – P. 19-23.
2. Geras'kin, S. Influence of long-term chronic exposure and weather conditions on Scots pine populations / S. Geras'kin, D. Vasiliyev, **E. Makarenko** et al. // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – V. 24. – №. 12. – P. 11240–11253.
3. **Makarenko, E.S.** Morphometric indices of Scots pine needle under chronic radiation exposure / **E.S. Makarenko**, A.A. Oudalova, S.A. Geras'kin // Contemporary Problems of Ecology. – 2017. – V. 10. – №. 7. – P. 761–769.

4. Volkova, P.Y. Chronic radiation exposure as an ecological factor: hypermethylation and genetic differentiation in irradiated Scots pine populations / P.Y. Volkova, S.A. Geras'kin, N. Horemans, **E.S. Makarenko** et al. // *Environmental Pollution*. – 2018. – V. 232. – P. 105–112.

В других изданиях:

5. **Макаренко, Е.С.** Оценка флуктуирующей асимметрии хвои в популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия / **Е.С. Макаренко**, А.А. Удалова // *Материалы международной научной конференции, посвящённой 25-летию Института радиобиологии*. – Минск, 2012. – С. 70–71.

6. Удалова, А.А. Радиобиологические эффекты в популяциях сосны обыкновенной на территории Брянской области в отдалённый период после Чернобыльской аварии / А.А. Удалова, С.А. Гераськин, Н.С. Дикарева, П.Ю. Волкова, Е.В. Черноног, **Е.С. Макаренко** // *Материалы международной научной конференции, посвящённой 25-летию Института радиобиологии*. – Минск. – 2012. – С. 139–140.

7. **Макаренко, Е.С.** Флуктуирующая асимметрия хвои и аномалии пыльцы сосны обыкновенной в радиоактивно загрязнённых районах Брянской области / **Е.С. Макаренко**, А.А. Удалова // *Материалы X региональной научной конференции «Техногенные системы и экологический риск»*. – Обнинск, 2013. – С. 65–67.

8. **Макаренко, Е.С.** Оценка состояния пыльцы сосны обыкновенной в районах Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / **Е.С. Макаренко**, А.А. Удалова // *Сборник тезисов 17-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века»*. – Пущино, 2013. – С. 132–133.

9. Удалова, А.А. Радиобиологические эффекты в популяциях сосны обыкновенной на территории России в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / А.А. Удалова, С.А. Гераськин, П.Ю. Волкова, Н.С. Дикарева, Е.В. Черноног, Д.В. Васильев, **Е.С. Макаренко** // В кн.: *Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований*. – Калуга: Изд-во АНО «Калужский региональный научный центр им. А.В. Дерягина», 2013. – Вып. 18. – С. 162–171.

10. **Макаренко, Е.С.** Изучение отдалённых последствий Чернобыльской аварии на популяциях сосны по морфологическим параметрам хвои / **Е.С. Макаренко**, А.А. Удалова // *Сборник тезисов 18-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века»*. – Пущино, 2014. – С. 101–102.

11. Волкова, П.Ю. Отдалённые последствия хронического облучения в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях / П.Ю. Волкова, С.А. Гераськин, А.А. Удалова, Н.С. Дикарева, **Е.С. Макаренко** и др. // *Сборник тезисов 18-ой Международной Пущинской школы-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века»*. – Пущино, 2014. – С. 86.

12. Удалова, А.А. Изучение закономерностей формирования биологических эффектов в природных популяциях сосны обыкновенной на территории России в отдалённый период после Чернобыльской аварии / А.А. Удалова, Д.В. Васильев, С.А. Гераськин, П.Ю. Волкова, **Е.С. Макаренко** и др. // В кн.: *Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований*. – Калуга: Изд-во АНО «Калужский региональный научный центр им. А.В. Дерягина», 2014. – Вып. 19. – С. 163–172.

13. **Makarenko, E.S.** Study of needles morphometric indexes in Scots pine trees in 25 years after the Chernobyl accident / **E.S. Makarenko**, А.А. Oudalova // *The 3rd International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, Barcelona, 2014*. – V. 46. – Is. 05.

14. **Макаренко, Е.С.** Оценка влияния радиационного воздействия в малых дозах на тератоморфность пыльцы сосны обыкновенной / **Е.С. Макаренко**, А.А. Удалова // *Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным*

участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». – Книга 1. – Киров, 2014. – С. 111–114.

15. **Макаренко, Е.С.** Состояние хвои и пыльцы сосны обыкновенной в районах Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / **Е.С. Макаренко** // XXII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых ЛОМОНОСОВ – 2015: Секция «Биология», тезисы докладов. – М., 2015. – С. 413–414.

16. **Makarenko, E.S.** Morphometry of Scots pine needle under chronic radiation exposure / **E.S. Makarenko, A.A. Oudalova** // Meeting in St. Petersburg: Fourth International Conference, Dedicated to N.W. Timofeeff-Ressovsky and His Scientific School «Modern Problems of Genetics, Radiobiology Radioecology, and Evolution». Abstracts, Papers by Young Scientists. – Dubna, 2015. – P. 121.

17. **Макаренко, Е.С.** Оценка аномалий пыльцы сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия / **Е.С. Макаренко, А.А. Удалова** // Сборник докладов молодёжной конференции с международным участием «Взгляд молодых учёных на современные проблемы развития радиобиологии, радиоэкологии и радиационных технологий». – Обнинск, 2016. – С. 56–59.

18. **Макаренко, Е.С.** Оценка морфометрических параметров хвои и полиморфизма пыльцы в популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия / **Е.С. Макаренко, А.А. Удалова** // Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. – 2016. – Вып. 12. – С. 96–106.

19. **Макаренко, Е.С.** Оценка параметров генетического разнообразия в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях / **Е.С. Макаренко, П.Ю. Волкова, С.А. Гераськин** // Генетика популяций: прогресс и перспективы. Материалы Международной научной конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения академика Ю.П. Алтухова и 45-летию лаборатории популяционной генетики ИОГен РАН. – М., 2017. – С. 156–158.

20. Volkova P. Chronic radiation exposure influences on genetic and epigenetic characteristics of natural Scots pine populations / P. Volkova, S. Geras'kin, G. Duarte, **E. Makarenko, N. Horemans** // 4th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity. – Berlin, 2017. – P. 627–628.

21. **Макаренко, Е.С.** Морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной, произрастающей на радиоактивно загрязнённых территориях / **Е.С. Макаренко, А.А. Удалова** // XIII международная молодёжная научно-практическая конференция «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2017». – Обнинск, 2017. – С. 226–228.

22. Волкова, П.Ю. Генетические и эпигенетические изменения, наблюдаемые в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной / П.Ю. Волкова, С.А. Гераськин, **Е.С. Макаренко, В.С. Бондаренко, Г.Т. Дуарте, Н. Хореманс** // Современные проблемы радиобиологии и радиоэкологии: сборник докладов молодёжного круглого стола в рамках XLVI международных радиоэкологических чтений, посвящённых действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. – Обнинск, 2017. – С. 22–27.

23. Казакова, Е.А. Использование различных типов маркёров в исследовании генетического разнообразия хронически облучаемых популяций сосны обыкновенной / Е.А. Казакова, П.Ю. Волкова, **Е.С. Макаренко** // Современные проблемы радиобиологии и радиоэкологии: сборник докладов молодёжного круглого стола в рамках XLVI международных радиоэкологических чтений, посвящённых действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. – Обнинск, 2017. – С. 46–50.

24. **Макаренко, Е.С.** Пыльца сосны обыкновенной, произрастающей на радиоактивно загрязнённых территориях / **Е.С. Макаренко, А.А. Удалова** // Современные проблемы радиобиологии и радиоэкологии: сборник докладов молодёжного круглого стола в рамках XLVI международных радиоэкологических чтений, посвящённых действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. – Обнинск, 2017. – С. 80–84.

25. Макаренко, Е.С. Изучение морфометрических показателей хвои и полиморфизма пыльцы в популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия / Е.С.Макаренко, А.А. Удалова, П.Ю. Волкова // Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. 2017. – Вып. 13. – С. 71–81.

26. Makarenko, E.S. Morphometric measurements of Scots pine needles from radioactively contaminated area / E.S. Makarenko, A.A.Oudalova, S.A. Geras'kin // In: XIII International Youth Scientific and Practical Conference "Future of atomic energy - AtomFuture 2017", KnE Engineering. – 2017. – P. 8–13.

27. Макаренко, Е.С. Некротические повреждения хвои *Pinus sylvestris* L. в радиоактивно загрязненных районах Брянской и Гомельской областей / Е.С. Макаренко // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции. – Обнинск, 2018. – С. 88–89.

Диссертация «Исследование морфологических параметров и генетического полиморфизма в природных популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия» Макаренко Екатерины Сергеевны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата Биологических наук по специальности 03.01.01. – «Радиобиология».

Заключение принято на расширенном заседании Учёного совета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», протокол № 6 от 23 мая 2018 г. В составе совета 23 чел., присутствовало на заседании 17 чел. Проведено открытое голосование. Результаты голосования: за – 17 чел.; против – нет; воздержавшихся – нет.

Учёный секретарь ФГБНУ ВНИИРАЭ,
кандидат биологических наук

Шубина О.А.