

© Е. С. Макаренко¹,
А. А. Удалова^{1,2}

¹ФГБНУ ВНИИ радиологии
и агроэкологии, Обнинск;

²Обнинский институт атомной
энергетики НИЯУ МИФИ

Исследованы морфометрические параметры *Pinus sylvestris* L. второго послеаварийного поколения деревьев, подвергшихся в результате Чернобыльской аварии облучению в дозах 4–5, 10–20 и 80–100 Грей (Гр). Изменчивость длины и массы хвои, искривленность побегов, высоту дерева и окружность ствола изучали в 2011–2014 гг. В 2012 и 2013 гг. во всех группах деревьев обнаружен гигантизм хвои — один из типичных радиоморфозов. Высота дерева и окружность ствола в группах 4–5, 10–20 Гр была значимо выше, чем в контроле.

✿ **Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L.; Чернобыльская авария; зона отчуждения; хвоя.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

ВВЕДЕНИЕ

Влияние отдаленных последствий действия радиации на живые организмы в природных условиях является одним из основных вопросов в радиобиологии. Особый интерес вызывает способность ионизирующего излучения, относящегося к мутагенным факторам, приводить к генетической нестабильности.

Около половины всей территории 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) занимают леса, около 80 % из которых — сосновые насаждения. Сходная радиочувствительность клеток человека и меристемы сосны (Сарапульцев, Гераськин, 1993), широкий ареал распространения, информативность, технологичность и чувствительность методик тестирования выдвинули *Pinus sylvestris* L. в число основных природных тест-объектов радиобиологических исследований. Изучение отдаленных последствий радиоактивного облучения на примере процессов роста и морфогенеза в условиях экспериментальной площадки важно для прогнозирования ситуации в облученных природных популяциях.

Целью данной работы является изучение второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС по морфометрическим показателям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются саженцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), представляющие собой второе поколение деревьев из ближней зоны аварии на ЧАЭС. Данные молодые деревья выращивались в условиях естественного радиационного фона в питомнике. В связи с пожарами в 2010 г. саженцы в возрасте четырех лет были пересажены на другую площадку. Деревца объединены в дозовые группы в соответствии с радиационными нагрузками на родительские популяции, которые составляли 4–5, 10–20 и 80–100 Гр на 01.06.1986. Первое послеаварийное поколение представляют сосны, выросшие путем самосева в условиях хронического радиационного воздействия. Контрольная группа деревьев располагается недалеко от экспериментальной группы и сходна с ними по возрасту. В контроле проанализировано 29–32, а в импактной группе — 31–33 растения.

Изучали морфометрические показатели хвои (длину, массу), а также высоту и окружность ствола саженцев. Для анализа отбирали однолетнюю хвою 2011, 2012 и 2013 гг. (по 10, 15 и 20 хвоинок с каждого дерева соответственно). Парные хвоинки разделяли и проводили измерения длины и массы обеих хвоинок по отдельности. Длину хвои измеряли линейкой с точностью до 0,5 мм. Далее хвоя подсушивалась 20 мин в сушильном шкафу с доведением температуры до 125 °С. Взвешивание проводили на лабораторных ана-

Поступила в редакцию 19.04.2015
Принята к публикации 07.12.2015

литических весах марки Ohaus Adventurer Pro с точностью до 0,1 мг. Высоту дерева и окружность ствола измеряли в 2011, 2012 и 2014 гг. с точностью до 0,5 см.

Статистическую обработку экспериментального материала проводили с помощью пакета прикладных компьютерных программ Microsoft Office Excel 2003. Данные были проверены по критерию Диксона на наличие выбросов, которые были исключены из дальнейшего рассмотрения. Для определения значимости различий между средними значениями использовали критерий Стьюдента. На рисунке представлены средние значения и стандартные ошибки среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты данного исследования показали, что в 2011 г. в группе потомков с дозовой нагрузкой на родительские деревья 80–100 Гр длина и масса хвои были существенно снижены (рис. 1). В 2012 и 2013 гг. во всех дозовых группах произошло резкое увеличение длины и массы хвои относительно контрольной группы (рис. 1).

Вероятно, наблюдаемая в 2011 г. картина связана с последствиями стресса, вызванного пересадкой растений, причем высокие уровни облучения родителей в группе 80–100 Гр оказали негативное влияние на адаптационный потенциал потомков. Последовавший в 2012 и 2013 гг. активный рост хвои может быть связан с включением компенсаторных механизмов, направленных на преодоление последствий пересадки деревьев. Стоит также упомянуть, что гигантизм хвои является одним из типичных радиоморфозов.

На обследованных деревьях обнаружены молодые искривленные побеги, доля деревьев с которыми варьирует от 9 (3 из 33) до 35 (11 из 31) % в импактной и от 0 до 10 (3 из 29) % в контрольной группе за три года наблюдений.

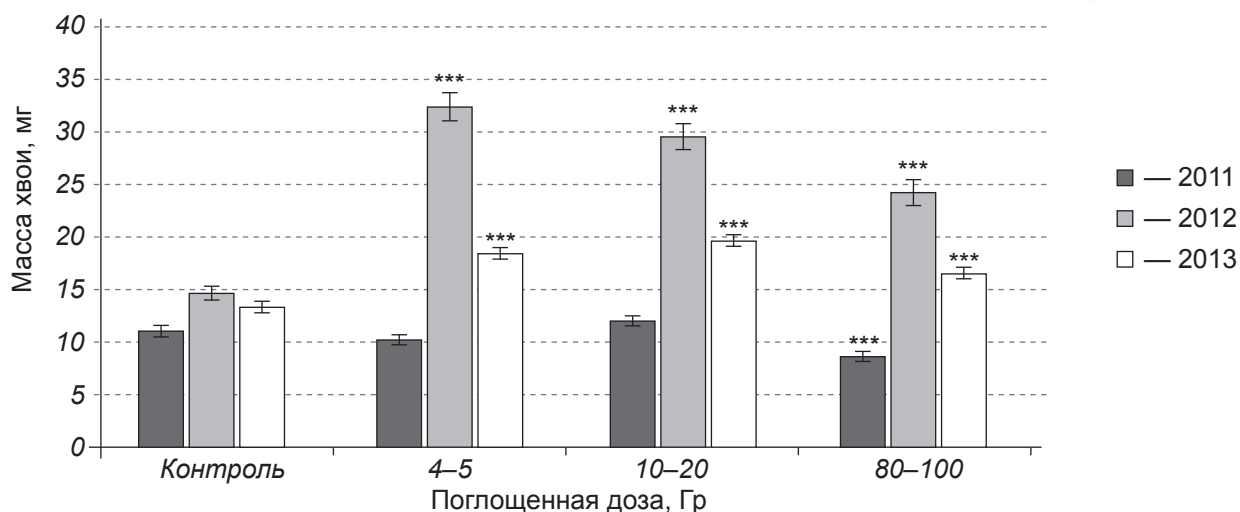


Рис. 1. Масса одной хвоинки *Pinus sylvestris* L. в зависимости от дозовой нагрузки на родительские деревья; *** — статистически значимое отличие от контроля ($p < 0,001$, критерий Стьюдента)

Определение прироста высоты и окружности ствола за 2011–2012 гг. не выявило различий с контрольным уровнем. В период 2012–2014 гг. прирост высоты в группах, чьи родительские популяции были из зон среднего и сублетального поражения, получив 4–5 и 10–20 Гр в 1986 г., составил 53 ± 3 и 55 ± 4 см, а прирост окружности ствола $5,5 \pm 0,7$ и $5,0 \pm 0,3$ см, значимо превысив контрольный уровень 40 ± 2 и $3,7 \pm 0,3$ см соответственно.

Известно, что при облучении растений в зависимости от дозы возможно как усиление метаболических процессов (Нариманов, Корыстов, 1997), так и их угнетение. В настоящем исследовании выявлено влияние острого облучения родительских деревьев на ростовые процессы во втором послеаварийном поколении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Второе поколение сосны обыкновенной, происходящее от деревьев, испытавших острое радиационное воздействие в первый период после Чернобыльской аварии, является очень интересным и высокоинформативным объектом для изучения. Результаты настоящей работы показали, что деревья второго пострадиационного поколения характеризуются гигантизмом хвои, деформацией побегов, стимуляцией ростовых процессов (окружности ствола, высота дерева) при дозах 4–5 и 10–20 Гр.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 14-14-00666.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарапульцев Б.И., Гераскин С.А. (1993) Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат.
2. Нариманов А.А., Корыстов Ю.Н. (1997) Стимулирующее действие малых доз ионизирующего излучения

на развитие растений. Радиационная биология. Радиоэкология. Т. 37 (3): С. 312–319.

ASSESSMENT OF MORPHOMETRIC INDEXES IN THE SECOND GENERATION OF SCOTS PINE TREES IN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Makarenko E. S., Oudalova A. A.

✿ **SUMMARY:** *Background.* A series of morphometric indexes was studied in Scots pine trees, which are the second generation of trees severely exposed at the Chernobyl accident in doses of 4–5, 10–20 and 80–100 Gy. *Materials and methods.* Variability of length and mass of needles, curvature of sprouts, tree height and trunk circumference were studied in 2011–2014. *Results.* Needle gigantism, one of the typical radiomorphoses, was observed in 2012 and 2013 in all groups of trees. Curved sprouts were discovered more often in a reference group.

Tree height and trunk circumference in groups of 4–5 and 10–20 Gy were significantly higher than in the reference group. *Conclusion.* The trees of the second generation of severely exposed pines can be characterized with needle gigantism and stimulation of growth processes (circumference of the trunk, height of the tree) at doses of 4–5 Gy and 10–20 Gy.

✿ **KEYWORDS:** *Pinus sylvestris* L.; Chernobyl accident; exclusion zone; needle.

✿ REFERENCES (TRANSLITERATED)

1. Sarapul'tsev B. I., Geras'kin S. A. (1993) *Geneticheskie osnovy radiorezistentnosti i evolyutsiya* [Genetic basis of radioresistance and evolution]. M.: Energoatomizdat.
2. Narimanov A. A., Korystov Yu. N. (1997) *Stimuliruyushchee deystvie malykh doz ioniziruyushchego izlucheniya na razvitie rasteniy* [Stimulating effect of low doses of ionizing radiation on plant development]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. Т. 37 (3): С. 312–319.

✿ Информация об авторах

Макаренко Екатерина Сергеевна — младший научный сотрудник, лаборатория радиобиологии и экотоксикологии растений. ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии. 249032, Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: makarenko_ek_obninsk@mail.ru.

Удалова Алла Александровна — д. б. н., заведующая кафедрой «Экология». Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ. 249040, Обнинск, Студгородок, д. 1. E-mail: oudalova@mail.ru.

Makarenko Ekaterina Sergeevna — Junior Researcher, Laboratory of Radiobiology and Ecotoxicology plants. Russian Institute of Radiology and Agroecology. 249032, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km, Russia. E-mail: makarenko_ek_obninsk@mail.ru.

Oudalova Alla Alexandrovna — Head of the Department, doctor biol. sciences, Department "Ecology". Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University MEPHI. 249040, Obninsk, Studgorodok, 1, Russia. E-mail: oudalova@mail.ru.