

Российская академия наук  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии»

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ**

**Сборник докладов  
Международной молодежной конференции**

Обнинск, 3-4 октября 2019 г.

Обнинск  
2019

УДК 57.04  
ББК 28.07  
С 56

Редакционная коллегия:  
**О.А. Шубина**, к.б.н. (*отв. ред.*),  
**Е.В. Гордиенко, О.А. Пронина, Р.А. Микаилова**

С 56 **Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии:** сборник докладов международной молодежной конференции, Обнинск, 3-4 октября 2019 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019. – 342 с.: ил.

ISBN 978-5-903386-57-4

В сборнике представлены материалы молодежной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии» по следующим направлениям: радиационная биология, радиоэкология, агроэкология, техногенное и агрогенное загрязнение почв, ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, математическое моделирование, цифровые технологии.

Ответственность за соблюдение законов об интеллектуальной собственности, достоверность приведенных сведений несут авторы публикуемых докладов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на сборник докладов обязательна.

**Topic Issues of Radiobiology, Radioecology and Agroecology:** Proceedings of the International Youth Conference, Obninsk, October 3-4, 2019, 2019. Obninsk: RIRAE, 2019. – 342 p.

The collection contains materials from the youth conference “Modern Problems of Radiobiology, Radioecology and Agroecology” in the following areas: radiation biology, radioecology, agroecology, technogenic and agrogenic soil pollution, nuclear-physics investigation and technology in agriculture and food industry, mathematical modeling, digital technologies.

Authors of published material are responsible for compliance with intellectual property laws and reliability of the information provided. Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors of the publications. When reprinting, a reference to the Proceedings is obligatory.

УДК 57.04  
ББК 28.07

ISBN 978-5-903386-57-4

© ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019  
© Авторы, 2019

## РЕАКЦИЯ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА *PINUS SYLVESTRIS* НА РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В ЗОНЕ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Кукарских В.В., Дэви Н.М., \*Шималина Н.С., Модоров М.В., Позолотина В.Н.

Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН

620144 г. Екатеринбург, ул. 8 Марта 202, Российская Федерация

\*e-mail: nadia\_malina@mail.ru

Исследован радиальный прирост *Pinus sylvestris*, выжившей после Кыштымской аварии 1957 г. В зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) было выбрано две площадки на удалении 5 и 16 км от места взрыва. Согласно измерениям 2007 г. плотность загрязнения почв  $^{90}\text{Sr}$  на участке ВУРС-5 составляла от 30 до 60 Ки/км<sup>2</sup>, а на участке ВУРС-16 от 150 до 300 Ки/км<sup>2</sup>. Две фоновые площадки находились вне зоны загрязнения. Керны были отобраны с 8–10 живых деревьев. Анализ динамики ширины годичных колец сосны на участке ВУРС-16 показал трехкратное снижение прироста в 1958 г., у 15% деревьев в 1959–1961 гг. рост прекратился полностью, что свидетельствует о катастрофическом влиянии радиации на рост деревьев. В последующие годы наблюдалось плавное восстановление прироста. Синхронизация изменчивости ширины годичных колец на этом загрязненном и фоновых участках произошла только через 10 лет после аварии. На участке ВУРС-5 после аварии наблюдалось лишь плавное снижение радиального прироста с быстрым восстановлением в течение трех лет.

**Ключевые слова:** Восточно-Уральский радиоактивный след, радиоактивное загрязнение, *Pinus sylvestris*, радиальный прирост

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) сформировался в 1957 г. в результате аварии на ПО «Маяк» (Кыштымская авария). В настоящее время основным загрязнителем зоны ВУРСа является  $^{90}\text{Sr}$ . Дополнительное загрязнение территории произошло в 1967 г. в результате переноса ила и песка с берегов обмелевшего озера Карачай – открытого хранилища радиоактивных отходов. Основным загрязнителем был  $^{137}\text{Cs}$  [Radioactive inventories..., 1997]. В настоящее время интегральные запасы  $^{90}\text{Sr}$  в почвах головной части ВУРСа составляют около  $570 \times 10^{12}$  Бк [Атлас, 2013; Current Assessment..., 2014]. В 5 км от эпицентра аварии максимальные запасы  $^{90}\text{Sr}$  в почвенном покрове оси следа достигают 70000 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{137}\text{Cs}$  – 1500 кБк/м<sup>2</sup> и  $^{239,240}\text{Pu}$  – 170 кБк/м<sup>2</sup>. По мере удаления от эпицентра аварии наблюдается снижение запасов радионуклидов в почвах, которое с высокой степенью достоверности аппроксимируется экспоненциальной функцией [Радиоэкологическое исследование..., 2011; Current Assessment..., 2014]. В связи с высоким содержанием долгоживущих радионуклидов в почвах, длительностью радиационного воздействия ВУРС является уникальным полигоном для радиоэкологических исследований.

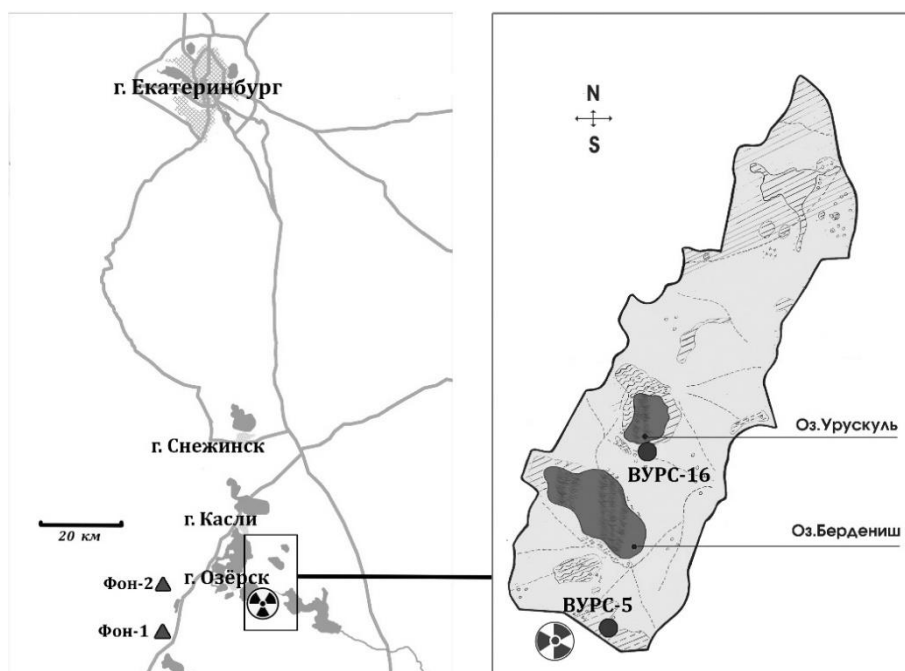
В первые годы после аварии облучение вызвало массовую гибель хвойных, а затем и лиственных пород, в составе и структуре фитоценозов появились сильные изменения [Тихомиров, Карабань, 1993]. Через 1–2 года после лучевого поражения в лесах

начались восстановительные процессы. У частично пораженных деревьев березы и сосны восстановление шло за счет прироста побегов, а также путем образования из спящих почек и межхвойной меристемы новых побегов. Спустя 8–10 лет основная масса морфозов исчезла, и по внешнему виду большинство восстановленных деревьев не отличалось от необлученных.

Цель работы – оценить влияние аварийного выброса радионуклидов в 1957 г. на ширину годичного прироста у выживших деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*).

В пределах центральной оси следа в непосредственной близости от эпицентра аварии сосны погибли полностью. Небольшие участки леса и отдельные деревья сохранились только на периферии следа. В головной части ВУРСа было выбрано две площадки (рис. 1) на удалении 5 и 16 км от места взрыва (ВУРС-5 и ВУРС-16 соответственно).

В последующие годы наблюдалось плавное восстановление прироста. На наиболее загрязненном участке ВУРС-16 произошло более чем трехкратное снижение величины прироста, свидетельствующее о катастрофическом влиянии ионизирующей радиации на рост сосны обыкновенной. Крайней формой реакции на резкое радиационное воздействие стало полное прекращение радиального роста у 15 % деревьев на участке ВУРС-16 в 1959–61 гг.



**Рисунок 1– Карта-схема района исследования**

Как показано в работе [Current Assessment..., 2014], плотность загрязнения почв резко снижается от центральной оси следа к периферии, участок ВУРС-5 расположен близко к месту аварии, но на границе периферийной зоны. Согласно измерениям 2007 г. плотность загрязнения почв  $^{90}\text{Sr}$  на участке ВУРС-5 составляла от 30 до 60 Ки/км<sup>2</sup>, а на участке ВУРС-16 от 150 до 300 Ки/км<sup>2</sup> [Атлас..., 2013]. Две фоновые площадки (Фон-1 и Фон-2) находились вне зоны радиоактивного загрязнения.

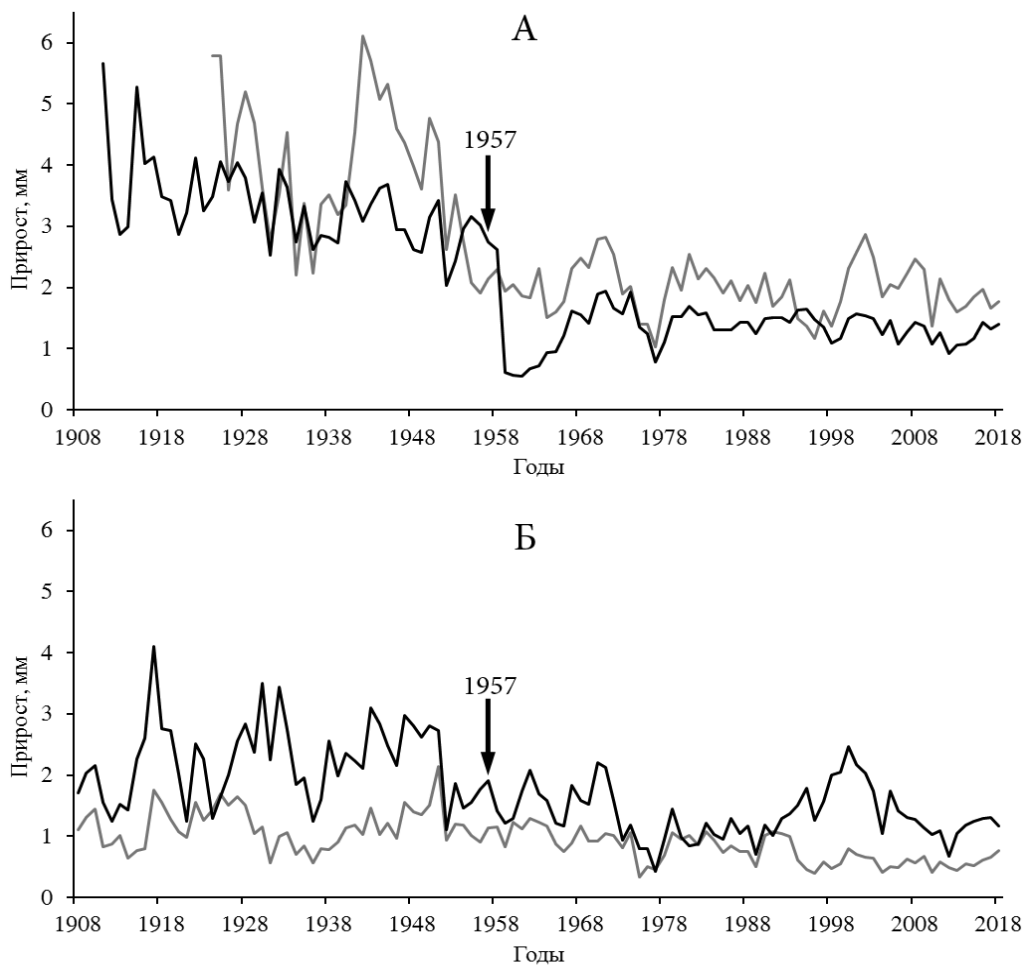
В пределах каждого участка были отобраны керны с 8–10 живых деревьев сосны обыкновенной. Измерение ширины годичных колец и перекрестная датировка индивидуальных серий прироста осуществлены согласно общепринятым методикам [Методы дендрохронологии..., 2000]. Качество датировки статистически проверено в программе COFESHA [Holmes, 1983]. Обобщенные древесно-кольцевые хронологии получены усреднением индивидуальных серий. В результате было построено 4 обобщенных ряда прироста.

Поскольку авария произошла осенью 1957 г., когда годичный прирост текущего года был уже сформирован, проявление влияния загрязнения на

радиальный прирост можно ожидать не ранее 1958 г. Анализ динамики ширины годичных колец сосны на участках, подвергшихся радиоактивному загрязнению (рис. 2А), показывает, что снижение прироста началось в 1958 г. и особенно резким было в 1959–1961 гг.

На фоновых территориях в этот же период сохраняется естественная динамика радиального прироста (рис. 2Б). Синхронизация изменчивости ширины годичных колец на фоновых и загрязненных участках наблюдается с 1967–68 гг, т.е. примерно через 10 лет после аварии. Помимо изменений в ширине годичного прироста обнаружены нарушения в анатомической структуре годичных колец, образовавшихся в 1958–60 гг., выраженное в виде несимметричных трахеид и искажений рядов клеток.

Таким образом, только на наиболее загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  участках с плотностью загрязнения более 150 Ки/км<sup>2</sup> наблюдается значительное подавление ростовых процессов сосны обыкновенной в течение четырех лет после аварии. При уровнях порядка 30–60 Ки/км<sup>2</sup> наблюдается лишь плавное снижение ширины радиального прироста с быстрым восстановлением в течение трех лет.



**Рисунок 2 – Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в зоне радиационного загрязнения – А (черная линия – участок ВУРС-16, серая линия – участок ВУРС-5) и на контрольной территории – Б (черная линия – участок Фон-1, серая линия – участок Фон-2).**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-05-00469-19.

### Список литературы

1. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2013. 140 с.
2. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов [и др.] Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
3. Радиоэкологическое исследование почвенного покрова Восточно-Уральского государственного заповедника и сопредельных территорий / Михайловская Л.Н. [и др.] Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51. № 4. С. 476–482.
4. Тихомиров Ф.А. Лучевое поражение леса в условиях радиоактивного загрязнения / Тихомиров Ф.А., Карабань Р.Т. // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 85–96.
5. Current Assessment of Integrated Content of Long-Lived Radionuclides in Soils of the Head Part of the East Ural Radioactive Trace / Molchanova I. [et al.] // J. of Environm. Radioact. 2014. V. 138. P. 238–248.
6. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. // Tree-Ring Bull. – 1983. V 43. P. 69–78.
7. Radioactive inventories from Kyshtym and Karachay accidents: estimates based on soil samples collected in the South Urals (1990–1995) / Aarkrog A. [et al.] // Science of The Total Environment. 1997. V. 201. P. 137–154.