



Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски

*Материалы международной конференции
16–20 сентября 2024 г.*

Электронное издание

Красноярск - 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН – ОБСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ФИЦ КНЦ СО РАН

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ: БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ, БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Материалы международной конференции
Красноярск, 16–20 сентября 2024 г.

Красноярск, 2024

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET SCIENTIFIC INSTITUTION, FEDERAL RESEARCH CENTER
«KRASNOYARSK SCIENCE CENTER OF THE SIBERIAN BRANCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES»
V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST – SEPARATE SUBDIVISION OF THE FRC KSC SB RAS

FOREST ECOSYSTEMS OF BOREAL ZONE: BIOSPHERIC ROLE, BIODIVERSITY, ECOLOGICAL RISKS

Proceedings of the International Conference
Krasnoyarsk, September 16–20, 2024

Krasnoyarsk, 2024

УДК 630+574
ББК 43+28
Л506

Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски. Материалы международной конференции. Красноярск, 16–20 сентября 2024 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2024. – 463 с.

В материалах международной конференции, посвященной 80-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН и 300-летию Российской академии наук, представлены результаты исследований лесных экосистем бореальной зоны в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов по основным направлениям: биоразнообразие лесных экосистем; динамика и мониторинг лесных экосистем; пулы и потоки углерода в лесных экосистемах; дендроэкологический мониторинг лесных экосистем; лесные ресурсы и лесоуправление; лес и вода; пожары в лесных экосистемах; болезни и вредители леса: век XXI; техногенно-нарушенные экосистемы; антропогенные и природные риски уязвимости городских насаждений; селекционно-генетические и геномные исследования бореальных лесов; биотехнология и глубокая переработка лесных продуктов. Для сотрудников исследовательских учреждений, преподавателей, работников лесного хозяйства, аспирантов и студентов.

Forest Ecosystems of Boreal Zone: Biospheric role, Biodiversity, Ecological Risks. Proceedings of the International Conference. Krasnoyarsk, September 16–20, 2024. Krasnoyarsk: IF SB RAS, 2024. – 463 p.

The proceedings of the international conference, dedicated to the 80th anniversary of the V.N. Sukachev Institute of Forest – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS and 300th anniversary of the Russian academy of sciences, present the results of studies of forest ecosystems of the boreal zone in forest protection, conservation and reproduction of the main areas: biodiversity of forest ecosystems; dynamics and monitoring of forest ecosystems; carbon pools and fluxes in forest ecosystems; dendroecological monitoring of forest ecosystems; forest resources and management; forest and water; fires in forest ecosystems; forest diseases and pests: XXI century; anthropogenically-disturbed ecosystems; anthropogenic and natural risks of urban forest vulnerability; selection and genetic and genomic studies of boreal forests; biotechnology and deep processing of forest products. For employees of research institutions, teachers, forestry workers, graduate students and students.

*Печатается по решению программного комитета конференции
Материалы публикуются в авторской редакции*

Ответственный редактор А.В. Пименов

Мероприятие проведено при финансовой поддержке ФИЦ КНЦ СО РАН, «Важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически-активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах"» (Российские инновационные технологии мониторинга углерода — «РИТМ углерода» <https://ritm-c.ru/>), ООО «Красноярский городской центр озеленения» и ПАО «ГМК «Норильский никель».

ИНДИКАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ КЫШТЫМСКОЙ АВАРИИ МЕТОДАМИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

М.В. МОДОРОВ, В.В. КУКАРСКИХ

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (mmodorov@gmail.com, voloduke@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрена реакция радиального прироста сосны обыкновенной и березы повислой на радиоактивное загрязнение среды, обусловленное Кыштымской аварией, произошедшей на территории Южного Урала в 1957 г. На наиболее загрязненных участках отмечено снижение прироста сосны обыкновенной в период 1959–1962 гг., но для березы повислой, напротив, зафиксировано увеличение прироста в период 1960–1966 гг., что, вероятно, связано со снижением световой конкуренции вследствие выпадения сосны обыкновенной.

DENDROCHRONOLOGICAL METHODS TO DETERMINE THE CONSEQUENCES OF THE KYSHTYM ACCIDENT

M.V. MODOROV, V.V. KUKARSKIN

Institute of Plant and Animal ecology, UB RAS, Yekaterinburg (mmodorov@gmail.com, voloduke@mail.ru)

Abstract. The reaction of radial growth of Scots pine and silver birch to radioactive contamination of the environment caused by the Kyshtym accident in the South Urals in 1957 was studied. At the most contaminated sites, a decrease in the growth of Scots pine was observed in the period 1959–1962, and an increase in the growth of silver birch in the period 1960–1966, which is probably related to a decrease in light competition after Scots pine dieback.

29 сентября 1957 года на территории Южного Урала произошла Кыштымская авария – одна из крупнейших радиационных аварий в истории человечества. В результате взрыва емкости с радиоактивными отходами, хранящимися на ПО «Маяк», в окружающую среду оказалось выброшено 7.4×10^{17} Бк продуктов деления, около 10 % которых было разнесено ветром в северо-восточном направлении. Это привело к радиоактивному загрязнению территории шириной до 20–40 км и протяженностью до 300 км. Загрязненная территория получила название Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Около 95 % содержания выброшенной смеси составляли радионуклиды с периодом полураспада менее года, что обусловило высокий уровень дозовых нагрузок, полученных биотой в начальный период после образования ВУРСа. На долю стронция-90 и цезия-137, период полураспада которых составляет около 30 лет, приходилось около 5 % и 0.04 % (по другим данным, 0.4 %) активности выпавшей смеси соответственно. Современное радиоактивное загрязнение ВУРСа связано с присутствием здесь стронция-90 и цезия-137 [1].

К моменту аварии в окрестностях ПО «Маяк» аграрные экосистемы соседствовали со смешанными сосново-березовыми лесами. Высокие уровни дозовых нагрузок, полученных деревьями в начальный период после Кыштымской аварии, привели к их заметному поражению и даже гибели в первые годы после начала облучения. Так, гибель сосны обыкновенной была отмечена на территории площадью около 50 км², а на территории площадью около 80 км² наблюдали сильное поражение кроны сосны с усыханием 95 % кроны и остановкой роста деревьев. Полной гибели всего древостоя березы не отмечено, однако на территории площадью около 3 км² погибли половина растущих деревьев березы повислой, а на территории 12 км² – около 10 % деревьев этого вида [1]. Спустя более 60 лет после Кыштымской аварии регистрирующие структуры деревьев являются единственным биологическим индикатором, который может быть использован для реконструкции реакции лесных экосистем на облучение, а также для реконструкции дозовых нагрузок, полученных биотой. В данной работе будет рассмотрена связь радиального прироста сосны обыкновенной и березы повислой с уровнем радиоактивного загрязнения территории ВУРСа.

В 2020–2023 гг. со 198 деревьев на высоте 1.3–1.5 м при помощи возрастного бура были отобраны керны древесины. В настоящее время деревьев сосны на наиболее загрязненных участках ВУРСа относительно немного, что отчасти связано с их гибелью в начальный период после Кыштымской аварии [4]. Представительные выборки сосен могли быть отобраны всего на трех участках со значительным уровнем загрязнения. Характеристика этих участков дана ранее, современная плотность загрязнения почвы стронцием-90 на них составляет около 1000, 2500 и 6000 кБк/м² [3]. Иная ситуация отмечена для берез. Пережившие Кыштымскую аварию деревья растут как в районе ее эпицентра, так и на участках, на которых сосна погибла в результате облучения. Керны с берез были отобраны на пяти участках. На участке Vet-1 уровень современного загрязнения почвы стронцием-90 составляет десятки тысяч кБк/м², деревья сосны в первом ярусе на этом участке отсутствуют, что связано с их гибелью после Кыштымской аварии. Участок Vet-2 примыкает к участку Vet-1, современный уровень загрязнения почвы стронцием-90 на нем составляет тысячи кБк/м², деревья сосны в первом ярусе здесь присутствуют. Участок Vet-3 представляет

собой березовый колок, расположенный в районе эпицентра Кыштымской аварии, уровень современного загрязнения почвы стронцием-90 составляет здесь около 10 000 кБк/м². В качестве контроля были использованы выборки берез, отобранные на двух участках, современный уровень плотности загрязнения почвы которых стронцием-90 составляет десятки кБк/м². В условиях лаборатории с использованием стандартных методов дендрохронологии с точностью до 0.01 мм определяли ширину годичных колец древесины [2]. Для устранения эффекта возрастного тренда все индивидуальные хронологии были проиндексированы. В анализ были включены только те образцы, возраст которых на момент аварии составлял не менее 7 лет включительно, что позволило получить выборку деревьев, высота которых за 7 лет до Кыштымской аварии была не менее 1.3 метра.

Для сосны обыкновенной было отмечено снижение радиального прироста относительно контрольных деревьев в 1959 г. (через два года после Кыштымской аварии) на двух участках с современной плотностью радиоактивного загрязнения почвы около 2500 и 6000 кБк/м², на участке с плотностью загрязнения почвы около 1000 кБк/м² подобного снижения не отмечено. При этом на участке с плотностью загрязнения около 2500 кБк/м² величина прироста была ниже контрольных значений вплоть до 1962 г. включительно, а на наиболее загрязненном участке подобное снижение присутствовало, но было статистически незначимо ($p > 0.05$). В последующие годы (с 1962 по 2019) каких-либо закономерных отличий радиального прироста деревьев, растущих в зоне значительного радиоактивного загрязнения, от контрольных выборок деревьев не выявлено.

По сравнению с сосной береза обладает меньшей радиочувствительностью [1]. Поэтому в условиях облучения смешанного сосново-березового леса негативный эффект от действия радиационного фактора должен быть выражен для этого вида не так сильно. При этом реакция на облучение берез будет сочетаться со снижением конкуренции со стороны более угнетенных деревьев сосны. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в период с 1960 по 1966 г. на радиоактивно загрязненных участках по сравнению с контрольными наблюдались более высокие значения радиального прироста у березы повислой. Причем наиболее выраженным он был на участке Vet-1 (наибольший уровень радиоактивного загрязнения, сочетающийся с гибелью деревьев сосны). В период с 1967 по 1969 г. включительно радиальный прирост на импактных участках был ниже, чем в контролях, а в период 1970–1972 гг. снова выше. В остальной период наблюдений закономерных (проявляющихся одновременно на разных участках, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения) отличий выборок деревьев, растущих на загрязненных участках, от контролей не отмечено.

Полученные данные свидетельствуют о том, что Кыштымская авария оказала заметное влияние на радиальный прирост как сосны обыкновенной, так и березы повислой. При этом для сосны обыкновенной эта реакция заключалась только в снижении прироста, начавшегося через год после начала облучения. Через 5 лет после начала облучения прирост деревьев на загрязненных и контрольных участках не различался. Для березы сочетанное действие факторов облучения и снижения конкуренции с сосной привело к увеличению радиального прироста, наблюдающегося в период с 1960 по 1966 г. После этого различия показателей прироста с контролем наблюдались до 1972 года, т. е. в течение 15 лет после начала облучения. Важно отметить, что даже в условиях высоких доз облучения факторы нерадиационной природы оказывают существенное влияние на регистрирующие структуры древесных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов и др. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
2. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов и др. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
3. *Kukarskih V.V., Modorov M.V., Devi N.M. et al.* Radial growth of *Pinus sylvestris* in the East Ural Radioactive Trace (EURT): Climate and ionizing radiation // *Science of The Total Environment*. 2021. V. 781. Article number: 146827.
4. *Pozolotina V.N., Shalaumova Y.V., Lebedev V.A. et al.* Forests in the East Ural Radioactive Trace: structure, spatial distribution, and the ⁹⁰Sr inventory 63 years after the Kyshtym accident // *Environmental monitoring and assessment*. 2023. V. 195. Article number: 632.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00467, <https://rscf.ru/project/23-27-00467>.