

Научная статья

УДК 630*18

EDN BYFFFFY

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0639-2-48-55>

**Потенциальные возможности восстановления
северо-таежных лесов при снижении аэротехногенной нагрузки**

Ирина Владимировна Лянгузова¹, доктор биологических наук

Павел Николаевич Катютин², кандидат биологических наук

^{1, 2} Ботанический институт имени В. Л. Комарова Российской академии наук
Санкт-Петербург, Россия

¹ ILyanguzova@binran.ru, ² paurussia@binran.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ ряда показателей лесных экосистем Кольского полуострова за периоды наблюдений с высокой и низкой интенсивностью эмиссии поллютантов. Выявлены признаки естественного восстановления сосновых лесов в ответ на снижение аэротехногенной нагрузки. При дальнейшем уменьшении техногенного пресса будет увеличиваться продуктивность стволовой древесины сосны; постепенно восстанавливаться структура и биомасса напочвенного покрова на территории буферной зоны; уменьшаться содержание никеля и меди в доминантных видах растений.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, северная тайга, Кольский полуостров, лесные экосистемы

Благодарности: авторы выражают благодарность за оказанную помощь при подготовке статьи А. И. Беляевой и Е. Н. Волковой.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23–26–00193).

Для цитирования: Лянгузова И. В., Катютин П. Н. Потенциальные возможности восстановления северо-таежных лесов при снижении аэротехногенной нагрузки // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов : материалы XIII междунар. конф. (Благовещенск, 26–27 июня 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 48–55.

Original article

**Potential opportunities for recovery
of northern taiga forests under reduction of aerotechnogenic load**

Irina V. Lyanguzova¹, Doctor of Biological Sciences

Pavel N. Katyutin², Candidate of Biological Sciences

^{1, 2} V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences

Saint-Petersburg, Russia

¹ ILyanguzova@binran.ru, ² paurussia@binran.ru

Abstract. A comparative analysis of a number of indicators of forest ecosystems of the Kola peninsula for observation periods with high and low intensity of pollutant emissions was carried out. Signs of natural recovery of pine forests in response to the reduction of aerotechnogenic load were revealed. With further reduction of the anthropogenic pressure, the productivity of pine trunk wood will increase; the structure and biomass of the ground cover in the buffer zone will gradually recover; the nickel and copper content of dominant plant species will continue to decrease.

Keywords: aerotechnogenic pollution, northern taiga, Kola peninsula, forest ecosystems

Acknowledgments: the authors thank A. I. Belyaeva and E. N. Volkova for their assistance in preparing the article.

Funding: the work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 23–26–00193).

For citation: Lyanguzova I. V., Katyutin P. N. Potential opportunities for recovery of northern taiga forests under reduction of aerotechnogenic load. Proceedings from Protection and rational use of forest resources: XIII Mezhdunarodnaya konferentsiya (Blagoveshchensk, 26–27 iyunya 2024 g.). (PP. 48–55), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2024 (in Russ.).

В настоящее время широкое распространение получила концепция экосистемных услуг, включающая в себя социально-экономические и природоохранные цели. Лесные экосистемы предоставляют целый комплекс экосистемных услуг, в частности производство древесины, пиломатериалов, целлюлозы, бумаги и др.; недревесные ресурсы леса (съедобные растения, ягоды, грибы, лекарственные растения); среда обитания (поддержание плодородия почв, предоставление среды обитания для других организмов); регулирование климатических факторов; культурные услуги (отдых и экологический туризм). Проблема аэротехногенного загрязнения окружающей среды по-прежнему остается актуальной, несмотря на предпринимаемые в последние десятилетия усилия многих стран по снижению промышленных эмиссий загрязняющих веществ. Особое внимание и бережное отношение необходимы хвойным лесам

северной тайги, произрастающим в суровых климатических условиях, что делает их наиболее уязвимыми и ранимыми к стрессовым факторам, одним из которых является техногенное загрязнение.

Мурманская область, занимающая практически полностью Кольский полуостров, – один из наиболее индустриально развитых регионов России; на ее территории расположены крупные предприятия цветной и черной металлургии, минеральных удобрений и строительных материалов, лесной, деревообрабатывающей и рыбной промышленности.

Металлургический комбинат «Североникель» был основан в середине 1930-х гг. в г. Мончегорске для выплавки цветных металлов из полиметаллических руд. Он всегда был и остается одним из ведущих предприятий никелевой промышленности СССР и России, занимает ведущие позиции в мировом производстве никеля. На различных этапах производственного цикла в атмосферу поступает диоксид серы с примесью мелкодисперсной полиметаллической пыли, содержащей в основном соединения Ni, Cu, Co. В результате многолетнего техногенного воздействия комбината на окружающую среду значительные территории оказались трансформированы, хвойные леса на площади 3,7 тыс. га полностью уничтожены.

Согласно опубликованным данным, за период 1981–1990 гг. ежегодный объем атмосферных выбросов SO₂ комбината «Североникель» превышал в среднем 220 тыс. т, твердых веществ – 16 тыс. т.; затем происходило постепенное снижение объемов выбросов, и к концу XX в. они составляли соответственно 45,8 и 6,0 тыс. т в год. В настоящее время ежегодный объем выбросов SO₂ и твердых веществ составляет соответственно 35–37 и 2,9–3,4 тыс. т в год. Логично предположить, что столь резкое снижение эмиссии поллютантов должно благотворно отразиться на состоянии как отдельных компонентов лесных сообществ, так и экосистем в целом, что позволит оценивать потенциальные возможности естественного восстановления наземных экосистем.

В 2020 г. Генеральная Ассамблея ООН объявила 2021–2030 гг. десятилетием Восстановления экосистем (The United Nations Decade on Ecosystem Restoration). При этом в числе шести главных барьеров, препятствующих достижению целей глобальной программы, наряду с финансовыми, политическими, социальными, экономическими и техническими причинами указана недостаточность научных знаний о закономерностях и лучших практиках управляемого восстановления. Однако это свидетельствует и об актуальности исследований естественного восстановления, поскольку управление данным процессом в той или иной степени должно базироваться на знаниях о закономерностях посттехногенной динамики экосистем, проходящей без вмешательства человека [1].

Цель настоящей работы – выявление признаков естественного восстановления лесных экосистем Кольского полуострова после снижения антропогенной нагрузки.

Методика исследований. Оценку потенциальной возможности естественного восстановления лесных экосистем на фоне резкого снижения интенсивности эмиссии поллютантов проводили на основе сравнительного анализа значений ряда показателей за два периода наблюдений: 1980–1999 гг. (режим больших объемов атмосферных выбросов) и 2000–2019 гг. (режим сниженных объемов выбросов).

Исследования проводили в средневозрастных сосновых лесах, расположенных в фоновом районе (свыше 80 км от источника загрязнения) Кольского полуострова, на территории буферной (в 30–40 км от источника загрязнения) и импактной (в 10–15 км от источника загрязнения) зон комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.).

Эдификатором древесного яруса является сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. В травяно-кустарничковом ярусе фоновых сосновых лесов доминируют кустарнички: брусника *Vaccinium vitis-idaea* L., черника *V. myrtillus* L.,

вороника *Empetrum hermaphroditum* Hagerup, в мохово-лишайниковом – зеленые мхи *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum* sp. и лишайники *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Cl. stellaris* (Opiz.) Pouzar & Vězda, *Cl. arbuscula* (Wallr.) Flot. На загрязненной территории в травяно-кустарничковом ярусе доминируют те же виды кустарничков, а в мохово-лишайниковом ярусе преобладают лишайники рода *Cladonia* с шиловидными и сцифовидными подециями. Почвы в исследуемых сообществах относятся к Al-Fe-гумусовым подзолам.

Оценку уровня загрязнения местообитаний осуществляли на основе интегрального индекса техногенной нагрузки (ИТН), который представляет собой превышение содержания кислоторастворимых форм никеля, меди и кобальта в верхнем органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов в зонах загрязнения над их суммарным фоновым содержанием [2].

Статистическая обработка данных проведена в программе Statistica 64 с использованием дисперсионного и регрессионного анализа, непараметрических критериев для оценки достоверности различий.

Результаты исследований. Установлено, что несмотря на многократное снижение объемов атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» по мере приближения к источнику загрязнения возрастает уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, что выражается в увеличении значений ИТН. На территории буферной зоны средние значения этого показателя варьируют от 6,3 до 17,4 отн. ед.; в пределах импактной зоны величина ИТН в среднем составляет 135 отн. ед. Это свидетельствует об очень высокой степени фитотоксичности почв в радиусе 20–30 км от комбината «Североникель» и представляет угрозу для экологической безопасности недревесных ресурсов леса.

Сравнительный анализ радиального прироста деревьев сосны за два периода исследований выявил различия в ответной реакции на снижение аэротехногенного загрязнения (табл. 1).

Таблица 1 – Основные статистические параметры радиального прироста деревьев сосны на высоте 1,3 м от основания в исследуемых зонах

Зона	Период, годы	Mean	SD	Min	Max	CV, %	z (p)
Фоновая	1980–1999	1,462	0,414	0,758	2,125	28	4,842 (<0,001)
	2000–2019	0,685	0,160	0,402	1,008	23	
Буферная	1980–1999	0,755	0,166	0,530	0,549	22	–0,555 (0,58)
	2000–2019	0,758	0,124	1,069	0,993	16	
Импактная	1980–1999	0,401	0,133	0,271	0,703	33	–4,071 (<0,001)
	2000–2019	0,611	0,094	0,391	0,736	15	
Примечания: Mean – среднее значение радиального прироста, мм; SD – стандартное отклонение; Min и Max – минимальное и максимальное значения; CV – коэффициент вариации; z – значение критерия Манна–Уитни; p – уровень значимости.							

В фоновых условиях во второй период наблюдений произошло достоверное двукратное уменьшение радиального прироста по отношению к первому периоду. Снижение данного параметра не связано с уменьшением интенсивности аэротехногенного загрязнения, а обусловлено увеличением возраста дерева вследствие возрастания диаметра ствола.

Наиболее ярко ответная реакция радиального прироста сосны на снижение аэротехногенной нагрузки выражена в импактной зоне, где во второй период произошло 1,5-кратное увеличение ширины годичных колец по отношению к первому периоду, и в настоящее время величина этого параметра сопоставима с фоновыми значениями.

Таким образом, при дальнейшем снижении объемов атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» возможно восстановление продуктивности стволовой древесины сосны на загрязненной территории.

Сравнительный анализ запаса надземной биомассы напочвенного покрова изученных сосновых лесов в период высоких (1982–1996 гг.) и низких (2014–2019 гг.) объемов атмосферных выбросов показал, что на территории буферной и импактной зон наблюдаются противоположные тенденции изменения этих показателей. В буферной зоне общий запас биомассы нижних ярусов увеличился в 2 раза и произошло изменение структуры биомассы: если в

1982–1996 гг. доля травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов в общем запасе биомассы составляла соответственно 79 и 21 % [3], то в 2014 г. доля травяно-кустарничкового яруса снизилась до 22 %, а мохово-лишайникового возросла до 78 % [4].

На территории импактной зоны в настоящее время общий запас биомассы нижних ярусов сократился почти в 2 раза по сравнению с предыдущим периодом. Таким образом, при дальнейшем снижении интенсивности эмиссии поллютантов в сосновых лесах буферной зоны возможно постепенное восстановление почвенного покрова в отличие от импактной зоны, где состояние нижних ярусов оценивается как полностью разрушенное.

При сопоставлении уровней накопления тяжелых металлов в индикаторных видах растений за два периода исследований (1980–1999 и 2000–2019 гг.) установлено, что на территории буферной зоны различия в содержании тяжелых металлов в ассимиляционных органах растений незначимы. В пределах импактной зоны максимальное снижение содержания никеля и меди в 6–8 раз обнаружено в листьях вороники, а минимальное (менее 3 раз) – в листьях черники. Уменьшение содержания тяжелых металлов в ассимиляционных органах лекарственных растений обусловлено меньшим количеством пылевых частиц, поступающих из загрязненного воздуха на поверхность листовой пластинки в процессе седиментации.

Список источников

1. Воробейчик Е. Л. Естественное восстановление наземных экосистем после прекращения промышленного загрязнения. 1. Обзор современного состояния исследований // Экология. 2022. № 1. С. 3–41.
2. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : Научно-исследовательский институт химии, 2002. 240 с.
3. Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб. : ВВМ, 2005. 450 с.

4. Лянгузова И. В., Ярмишко В. Т., Евдокимов А. С., Беляева А. И. Состояние сосновых лесов Кольского полуострова на фоне снижения объемов атмосферных выбросов предприятием цветной металлургии // Растительные ресурсы. 2018. № 4. С. 516–531.

References

1. Vorobeychik E. L. Natural recovery of terrestrial ecosystems after the cessation of industrial pollution. 1. A state of the art review. *Ekologiya*, 2022;1:3–41 (in Russ.).

2. *Methods for studying forest communities*, Saint-Petersburg, Nauchno-issledovatel'skii institut khimii, 2002, 240 p. (in Russ.).

3. *Problems of ecology of plant communities of the North*, Saint-Petersburg, VVM, 2005, 450 p. (in Russ.).

4. Lyanguzova I. V., Yarmishko V. T., Evdokimov A. S., Belyaeva A. I. The state of pine forests of the Kola peninsula against the background of reduced atmospheric emissions by non-ferrous metallurgy enterprise. *Rastitel'nye resursy*, 2018;4: 516–531 (in Russ.).

© Лянгузова И. В., Катютин П. Н., 2024

Статья поступила в редакцию 16.05.2024; одобрена после рецензирования 30.05.2024; принята к публикации 20.08.2024.

The article was submitted 16.05.2024; approved after reviewing 30.05.2024; accepted for publication 20.08.2024.