

УДК 582.475+581.522.4:504.5.(470.21)

СОСТОЯНИЕ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ (*PINUS CONTORTA*) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Л. Г. Исаева*, Н. С. Рябов

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН
(Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209),

* l.isaeva@ksc.ru

В работе отражены результаты оценки состояния саженцев сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm. в районе расположения комбината «Североникель» (АО «Кольская ГМК», г. Мончегорск). Изучены сохранность и состояние сосны скрученной с 2004 по 2022 г. За период наблюдений погибло более 90 % саженцев, оставшиеся 21 экз. сосен имеют среднюю высоту $1,2 \pm 0,1$ м, возраст хвои до трех лет, среднюю длину хвои текущего года $53,9 \pm 0,5$ мм, 71 % сосен имеют сухую вершину. Длина хвои саженцев сосны скрученной в 1,7–2 раза превышает длину хвои сосны обыкновенной. Концентрации основных загрязняющих веществ (Ni, Cu и S) в хвое в последние годы остаются высокими, особенно в 1–3-летней. Содержание основных элементов питания растений (K, Mn и P) в хвое текущего года снижается, а кальция – увеличивается. В почвенном слое (глубиной до 10 см) на участке ремедиации с сосной скрученной с 2005 по 2016 г. концентрация никеля увеличилась примерно в 3,5 раза, меди – в 1,4 раза. Ухудшение состояния саженцев сосны скрученной продолжается, усыхают верхушечные побеги. Полученные результаты свидетельствуют, что посадка сосны скрученной при ремедиации в зоне влияния выбросов комбината «Североникель» не рекомендуется.

Ключевые слова: загрязнение; техногенные пустоши; ремедиация; сосна скрученная

Для цитирования: Исаева Л. Г., Рябов Н. С. Состояние сосны скрученной (*Pinus contorta*) в условиях промышленного загрязнения (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 1. С. 77–89. doi: 10.17076/esc2089

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ИППЭС КНЦ РАН «Структурно-функциональная организация и динамика наземных экосистем Евро-Арктического региона» № 1023032200043-6.

L. G. Isaeva*, N. S. Ryabov. *PINUS CONTORTA* UNDER INDUSTRIAL AIR POLLUTION (MURMANSK REGION)

Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences (14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia), *l.isaeva@ksc.ru

The paper reports the results of monitoring lodgepole pine (*Pinus contorta*) saplings planted near Severonikel smelter (Monchegorsk) from 2004 to 2022. More than 90 % of the saplings died during this period, while the remaining 21 plants reached an average height of 1.2 ± 0.1 m, had needle age up to 3 years, current-year's needles 53.9 ± 0.5 mm long on average, and 71 % of the pines had a dry top. The needles of *P. contorta* were 1.7–2 times longer than the needles of *Pinus sylvestris*. Concentrations of the main pollutants (Ni, Cu, and S) in needles remained high in recent years, especially in needles 1–3 years old. The content of nutrients (Mg, K, Mn and P) in current-year's *Pinus contorta* needles was decreasing, while that of calcium increased. Between 2005 and 2016, topsoil (down to 10 cm depth) at the remediation site showed a 3.5-fold rise in the nickel concentrations and a 1.4-fold rise in copper. The condition of the *Pinus contorta* saplings continues to degrade. The planting of *Pinus contorta* cannot be recommended for remediating the Severonickel smelter's impact area.

Keywords: pollution; industrial wastelands; remediation; *Pinus contorta*

For citation: Isaeva L. G., Ryabov N. S. *Pinus contorta* under industrial air pollution (Murmansk Region). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 1. P. 77–89. doi: 10.17076/eco2089

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to INEP KSC RAS "Structural and functional organization and dynamics of terrestrial ecosystems of the Euro-Arctic region" No. 1023032200043-6.

Введение

Сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.) является одной из основных лесообразующих пород Северной Америки и имеет обширный естественный ареал [Раевский, Мордась, 2005; Федорков, Туркина, 2010]. Большой практический интерес к интродукции сосны скрученной проявляется в странах Северной Европы, где эта порода обнаруживает более быстрый рост, высокую выживаемость, длинную хвою с большей площадью поверхности, быстрое развитие корневой системы и более высокую продуктивность по сравнению с местными лесообразующими породами [Jansons et al., 2013; Алексеев и др., 2014]. Многие исследователи сообщают о перспективности лесовыращивания сосны скрученной на Европейском Севере России: в Республиках Карелия [Раевский, 2008–2010] и Коми [Федорков, Туркина, 2010; Гутый, Федорков, 2016], Ленинградской [Алексеев и др., 2014], Новгородской [Маркова, Жигунов, 1999], Вологодской [Бабич, Андропова, 2014; Корчагов и др., 2020] и Архангельской [Стафеев, 1989; Демидова и др., 2018] областях.

В Мурманской области до 2004 г. в лесных культурах или для озеленения городов сосна скрученная не использовалась. В Заполярье

рост и развитие хвойных пород происходит в экстремальных почвенно-климатических условиях: недостаток тепла, продолжительный зимний период, низкое плодородие почв [Крутов, 1989; Лукина, Никонов, 1998]. В районе г. Мончегорска расположен комбинат «Североникель» (АО «Кольская ГМК») – крупнейший источник выбросов (подкисляющих веществ и соединений тяжелых металлов) в атмосферу. Промышленные выбросы комбината распространяются на значительные расстояния, являясь причиной нарушений и повреждений лесов, произрастающих на этой территории [Влияние..., 1990; Проблемы... 2005; Цветков, Цветков, 2012]. Непосредственно к источникам промышленных выбросов примыкают «техногенные пустоши» с погибшей растительностью и эродированными почвами. Институтом проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) в период с 1997 по 2000 г. были выполнены целенаправленные эксперименты по разработке научно обоснованных подходов к восстановлению территорий, нарушенных в условиях воздействия медно-никелевого производства [Лукина и др., 2005]. Результаты экспериментальных исследований показали, что оптимизация питательного режима методом внесения недостающих элементов в почву способствует развитию

пионерных сообществ из местных видов на территориях, занятых техногенными редколесьями и пустошами [Winterhalder, 1996; Лукина и др., 2005]. По рекомендациям, разработанным ИППЭС КНЦ РАН, и при финансовой поддержке АО «Кольская ГМК» в районе г. Мончегорска в 2003 г. Мончегорским лесхозом были начаты крупномасштабные работы по восстановлению растительности на техногенных пустошах [Исаева и др., 2011].

В условиях постоянно и длительно действующего комбината «Североникель» при восстановлении растительности предпочтительно использовать устойчивые к воздушному промышленному загрязнению местные листовенные породы: ива, береза, осина, рябина, ольха [Цветков, 1987; Лукина и др., 2005; Цветков, Цветков, 2012]. Многолетние экспериментальные исследования ИППЭС КНЦ РАН, результаты мониторинговых наблюдений и анализ почв на техногенных пустошах показывают невозможность использования хвойных пород в посадках на данном этапе восстановительных работ, тем более древесных видов интродуцентов. Кроме того, интродукция *Pinus contorta* в Швеции и Финляндии была существенно ограничена в связи с заражением посадок склеродерриозом, вызванным широким распространением патогена *Gremmeniella abietina* (Lagerb.) Morelet [Karlman et al., 1994; Hansson, 1996; Witzell, 2001]. Распространение патогенной микрофлоры обусловило принятие ограничительных мер и в других странах по дальнейшему интродуцированию экзотических видов сосны для защиты местных видов (*Pinus* и *Picea*) от инфекции. Известно, что в окрестностях г. Оленегорска (28 км на ССВ от г. Мончегорска) в середине 1990-х годов было много естественных очагов заражения *G. abietina* [Кайтера и др., 1996, 2001], а это значит, что культуры *P. contorta*, если выживут, вероятно, будут заражены в будущем побеговым раком. Сосна неместного происхождения в большей степени подвержена повреждению патогенами, включая побеговый рак [Stephan, Schulze, 1987; Witzell, Karlman, 2000], возбудителями болезней в северных лесах и может в дальнейшем служить очагом распространения инфекций на местные виды хвойных пород.

Осенью 2004 г. на участке бывшего выработанного песчаного карьера, расположенного в 4,5 км севернее комбината «Североникель», рекомендациями ИППЭС КНЦ РАН предусматривалась посадка листовенных древесно-кустарниковых пород. Тем не менее ООО НПО «Алкахест» (г. Архангельск) были привезены и высажены саженцы сосны скрученной, вариант широкохвойная – *Pinus contorta* Dougl.

ex Loud. var. *latifolia* Engelm. – как наиболее адаптированный к суровым климатическим условиям [Elfving et al., 2001]. Предположительно, саженцы сосны скрученной были взяты из плантаций хвойных интродуцентов дендрологического сада ФБУ «СевНИИЛХ имени В. Н. Нилова» [Демидова и др., 2016]. Учитывая рекомендации ИППЭС КНЦ РАН по использованию местных листовенных пород, Мончегорским лесхозом рядом с каждым саженцем сосны скрученной в ряду была посажена ива или береза (высотой до 1–1,5 м).

Интродукция древесных видов требует особого внимания при выращивании их в другом регионе, тем более на территории, нарушенной азротехногенным загрязнением. Исследований состояния сосны скрученной, высаженной на техногенной пустоши в условиях длительного промышленного загрязнения выбросами комбината «Североникель», ранее не проводилось.

Цель исследований: оценка состояния культур сосны скрученной (*Pinus contorta*) в условиях постоянного промышленного загрязнения выбросами медно-никелевого производства.

Материалы и методы

Объект исследований – саженцы сосны скрученной широкохвойной *Pinus contorta* var. *latifolia*, привезенные из Архангельска на автомобиле. Корни саженцев во время перевозки были укрыты сырым мхом. Более конкретная информация – происхождение семенного материала, возраст саженцев, место произрастания и другие характеристики – отсутствует, а за истечением срока давности получить ее не представляется возможным.

В 2004 г. на участке ремедиации (площадью 3,5 га) с применением инвестиционного подхода [Исаева и др., 2011] вместе с посадками листовенных древесно-кустарниковых пород на насыпной слой грунта, состоящего из торфа, опилок и песка, с одновременным внесением удобрений и посевом многолетних трав были высажены около 600 саженцев сосны скрученной. Саженцы с открытой корневой системой высаживались в лунки с размещением 1,5 м между рядами и 2 м в ряду.

В полевых условиях саженцы сосны периодически осматривали, измеряли высоту, определяли возраст хвои, в конце периода вегетации (август) отбирали пробы хвои и слоя почвы до 10 см глубиной. В 2008, 2011 и 2014 гг. пробы отбирали в местах, содержащих органический слой (торф) или минеральный. В работе использован коэффициент концентрации (Кс) – отношение концентрации элемента в хвое при

техногенной нагрузке к среднефоновому содержанию [Геохимия..., 1990]. Пробы хвои текущего года и 1–3 лет высушивали в комнатных условиях, определяли гигроскопическую влажность. Категории жизненного состояния саженцев оценивали по 6-балльной шкале [Алексеев, 1989; Влияние..., 1990; Методические..., 1990]. Индекс состояния (повреждения) определяли как средневзвешенное значение [Методические..., 1990] по формуле:

$$I_n = (n_1 K_1 + n_2 K_2 + \dots + n_6 K_6) / N,$$

где $n_1 \dots n_6$ – количество деревьев 1, 2...6 категорий жизненного состояния; $K_1 \dots K_6$ – баллы жизненного состояния категорий деревьев, соответствующие номеру категории; N – общее число учтенных деревьев на пробной площади.

В лабораторных условиях выполняли измерения длины хвои (не менее 500 шт.) по годам. Для сравнения данных по длине хвои использовали показатели длины хвои сосны обыкновенной, хвоя которой была отобрана в фоновых условиях (160 км в ЮЗ направлении) и в техногенном редколесье (10 км в южном направлении от комбината «Североникель»). Хвоя сосны обыкновенной отбиралась с трех деревьев, по пять веток с верхней трети кроны, в конце периода вегетации (август) и разбиралась по возрастам.

В ИППЭС КНЦ РАН аналитическими методами определяли:

- валовой анализ растительных проб после мокрого озоления азотной кислотой – методами атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной

спектрометрии, фотоколориметрическими методами анализа;

- концентрации металлов – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии; доступные для растений концентрации элементов – методом экстракции 1М ацетатом аммония (рН = 4,65); фосфор и серу – колориметрическим методом.

Результаты и обсуждение

Осенью 2004 г. все сосны были в здоровом состоянии, с зеленой хвоей (длина хвои 6–10 см), высотой до 1,0–1,3 м, возрастом по мутовкам 3–10 лет (рис. 1). По результатам изучения хода роста культур сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) на территории Ленинградской области [Алексеев и др., 2014] двухлетние саженцы на третий год выращивания имели высоту от 85 до 100 см. Можем предположить, что и привезенные саженцы сосны скрученной для посадки вблизи г. Мончегорска были возрастом от 3 до 10 лет.

По данным АО «Кольская ГМК», выбросы сернистого газа в период с 2004 по 2020 г. составляли в среднем более 36 тыс. тонн/год, резкое сокращение SO_2 отмечено в 2021 и 2022 гг. (15,6 и 13,0 тыс. т/год соответственно); концентрации твердых веществ (никеля и меди) в атмосфере планомерно снижались с 1990-х гг., резкое сокращение выбросов твердых веществ Ni и Cu в атмосферу отмечено в 2001, 2021 и 2022 гг. Сильные разовые «выхлопы» сернистого газа зафиксированы летом 2014, 2016, 2018 и 2020 гг. В регионе зимой



Рис. 1. Саженцы сосны скрученной осенью 2004 г.

Fig. 1. Seedlings of *Pinus contorta*, autumn 2004

преобладают потоки ветра южных румбов, летом – северных направлений. Разовые выбросы высоких концентраций SO_2 вызывают резкое усыхание ассимилирующих органов древесных растений [Цветков, Цветков, 2012].

Периодический анализ проб верхнего слоя почвы на данном участке ремедиации показывает высокие концентрации основных загрязнителей доступных для растений соединений, максимальные концентрации никеля и меди в 2016 г. составили 241 и 601 мг/кг соответственно (рис. 2).

В условиях техногенного загрязнения изменяется соотношение Ni : Cu. В фоновых районах в хвое сосны обыкновенной оно варьирует от 0,4 до 1,0, в техногенных сосновых редко-

лесьях значения разнятся в пределах 2,1–3,8 [Сухарева, 2017], в хвое сосны скрученной это соотношение для хвои текущего года колеблется в пределах 4,4–10,7, а для хвои 1–3 лет – 2,5–10. Концентрации основных загрязняющих веществ (Ni, Cu и S) в хвое сосны скрученной за период с 2014 по 2022 г. имеют тенденцию к снижению, но все еще, по сравнению с фоном, остаются высокими (рис. 3, 4), особенно в хвое 1–3 лет. В хвое текущего года и 1–3 лет отмечено незначительное снижение этих элементов с 2014 по 2022 г. По величине коэффициента концентрации (K_c) содержания никеля и меди в ассимилирующих органах сосны скрученной на территории, подверженной загрязнению, определяются как аномальные ($K_c \geq 1,5$).

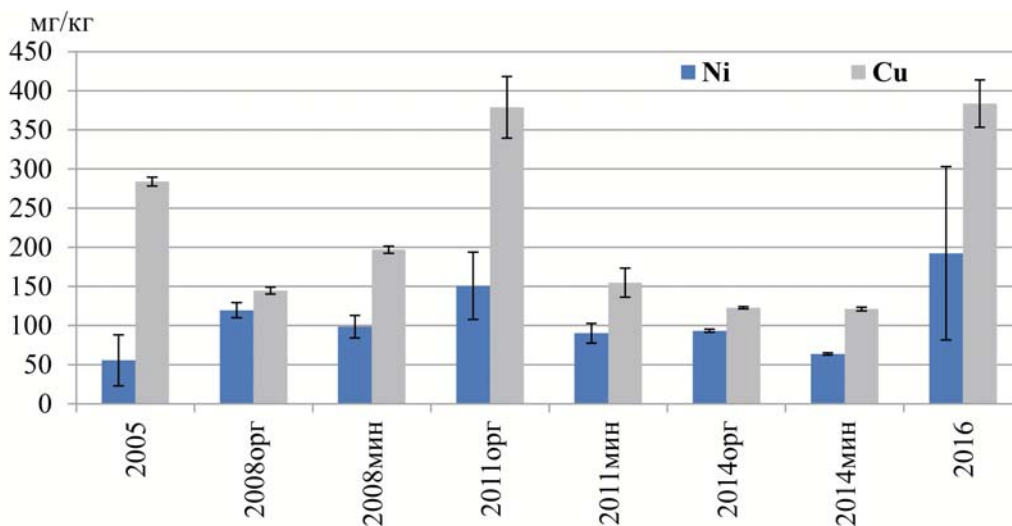


Рис. 2. Динамика содержания доступных для растений соединений никеля и меди в почвенном слое (до 10 см) по годам, мг/кг абс. сух. в-ва: орг – органический слой; мин – минеральный слой

Fig. 2. Dynamics of available nickel and copper compounds in the soil layer (up to 10 cm) by year, mg/kg abs. dry matter: орг – organic layer; мин – mineral layer

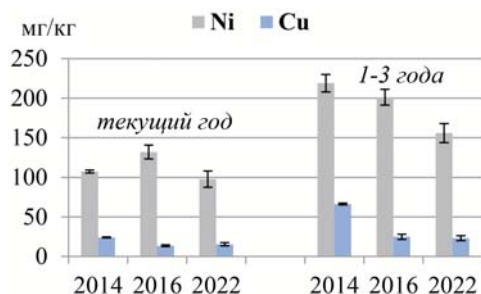


Рис. 3. Динамика содержания никеля и меди в хвое сосны скрученной по годам, мг/кг абс. сух. вещ-ва

Fig. 3. Dynamics of nickel and copper in pine needles of *Pinus contorta* by year, mg/kg abs. dry matter

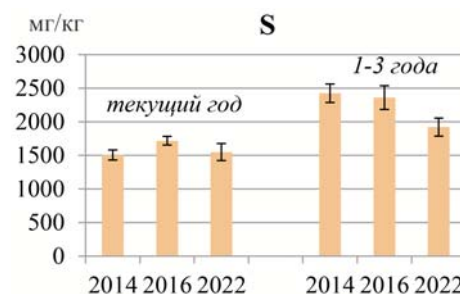


Рис. 4. Динамика содержания серы в хвое сосны скрученной по годам, мг/кг абс. сух. вещ-ва

Fig. 4. Dynamics of sulfur in pine needles of *Pinus contorta* by year, mg/kg abs. dry matter

В разные периоды обследования саженцы отличались по состоянию (табл. 1, рис. 5–8), что объяснялось в первую очередь воздушными выбросами сернистого газа. В начале июня 2005 г. в результате пересадки в другой регион, в условия сильного воздушного загрязнения и стресса, вся хвоя сосны имела бурый цвет и опадала. При оценке состояния (август 2005 г.) обнаружено, что у некоторых растений верхушечная почка осталась живой и пошла в рост новая хвоя. Большинство сосен засохли.

В 2008 г. было учтено 104 саженца, средняя высота живой части растений составила 0,3 метра, 13,5 % сосен имели хвою только текущего года, 3,8 % – усохшую ранее и затем сломанную верхушку. В первые четыре года после высадки погибло более 80 % саженцев и посадки характеризовались как погибшие (табл. 1, рис. 5).

В последующие годы состояние сосны скрученной продолжало ухудшаться (рис. 6–8). Загрязнение почвы тяжелыми металлами на участке ремедиации (рис. 2), значительное повреждение сернистым газом в результате разовых выбросов (летом 2014, 2016, 2018, 2020 гг.) вызвало усыхание растений. В 2017 г. насчитали только 27 живых саженцев сосны скрученной, из них у 26 % была сухая верхушка, хотя по индексу состояния сообщество относится уже не к погибшему, а к слабоповрежденному [Методические..., 1990]. В 2022 г. состояние сосен еще более ухудшилось – вероятно, сказался сильный выброс сернистого газа летом 2020 г., зафиксирован 71 % растений с засохшей верхушкой (табл. 1). При этом стали удлиняться расположенные ниже ветки (рис. 8), что, вероятно, приведет в будущем к смене усохшего верхушечного побега одним из боковых.

Таблица 1. Состояние сосны скрученной по годам

Table 1. State of *Pinus contorta* by year

Год Year	Количество живых саженцев Number of living seedlings	Средняя высота, м Average height, m	Индекс состояния State index	Сухая вершина Dry top, %	Возраст хвои Age of needles
2004	~ 600	до 1,0 м	-	0	4–5 лет 4–5 years
2005	-	-	-	-	1–2 года 1–2 years
2008	74	0,3 ± 0,02	4,98	4	текущий current
2014	-	-	-	-	1–3 года 1–3 years
2017	27	1,0 ± 0,14	2,26	26	67 % 1–2 года / 1–2 years 22 % до 3 лет / up to 3 years 11 % до 5 лет / up to 5 years
2022	21	1,2 ± 0,14	2,43	71	29 % 1–2 года / 1–2 years 71 % до 3 лет / up to 3 years

Примечание. «-» – не определяли.

Note. «-» – no date.



Рис. 5. Состояние саженцев сосны скрученной летом 2008 г.

Fig. 5. The state of *Pinus contorta* seedlings, summer 2008



Рис. 6. Саженьцы сосны скрученной летом 2016 г.
Fig. 6. Seedlings of *Pinus contorta*, summer 2016



Рис. 7. Саженьцы сосны скрученной летом 2017 г.
Fig. 7. Seedlings of *Pinus contorta*, summer 2017



Рис. 8. Саженьцы сосны скрученной осенью 2022 г.
Fig. 8. Seedlings of *Pinus contorta*, autumn 2022

Известно, что по длине хвои сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную на 28 % ($p < 0,001$), т. е. в 1,2 раза [Плюснина и др., 2024], а надземная биомасса *Pinus contorta* var. *latifolia* достоверно ($p < 0,01$) и значительно (более чем в два раза) выше, чем у *Pinus sylvestris* L. [Jansons et al., 2013]. В Архангельской области средняя длина хвои у 7–20-летних саженцев сосны скрученной равнялась $50,2 \pm 1,1$ мм (Емецкий район) и $59,6 \pm 1,0$ мм (Холмогорский район) и превышала длину хвои сосны обыкновенной в 1,3 и 1,5 раза соответственно [Бирюков, 2007]; в Республике Коми этот показатель у 18-летних сеянцев – $61,3 \pm 0,5$ мм (1 год) и $58,0 \pm 0,6$ мм (2 года) [Плюснина и др., 2024]. На участке ремедиации средняя длина 1–3-летней хвои сосны скрученной в 2022 г. составила $68,4 \pm 0,5$ мм, максимальная длина хвои текущего года достигала 10 см (табл. 2), а длина хвои сосны обыкновенной в техногенном редколесье – 50,5 мм (табл. 3). Длина хвои саженцев сосны скрученной на участке ремедиации превышает длину хвои сосны обыкновенной, растущей в техногенном редколесье и в фоновых условиях [Сухарева, 2017], в 1,7–2 раза.

В ненарушенных лесных сообществах из минеральных элементов в хвое древесных

растений преобладают калий и кальций. Установлено, что концентрации элементов в хвое сосны обыкновенной закономерно изменяются при ее старении [Лукина, Никонов, 1998], концентрации подвижных элементов (азот, фосфор, калий и магний) с возрастом в хвое снижаются, а концентрации малоподвижных элементов (кальций, алюминий, железо и марганец) возрастают. Содержание основных элементов питания растений (К, Mn и P) в хвое текущего года сосны скрученной за период с 2014 по 2022 г. снижается, а кальция – увеличивается (до 3774 мг/кг абс. сух. веса). Данные элементы являются подвижными и способны реутилизироваться из хвои старших возрастов в более молодую хвою [Сухарева, 2017]. В этот же период в хвое 1–3 лет концентрации Ca, Mg, Fe и Mn достоверно выше ($p < 0,05$), чем в хвое текущего года, а калия и фосфора – ниже (табл. 4). Следует отметить, что концентрации таких элементов, как Ca, Mg, K и Fe, в хвое сосны скрученной превышают таковые в хвое сосны обыкновенной в условиях техногенного редколесья (табл. 5). Количественное соотношение элементов, в том числе кальция и калия, может меняться и зависит от возраста хвои и влияния атмосферного загрязнения [Сухарева, 2017].

Таблица 2. Длина хвои сосны скрученной на участке ремедиации, мм

Table 2. Length of needles of *Pinus contorta* on the area of remediation, mm

Дата отбора Sampling date	Текущий год* Current year*	Min–max	n	1–3 года* 1–3 years*	Min–max	n
01.08.2014	$53,92 \pm 0,33$	37–77	500	$59,33 \pm 0,52$	37–95	500
08.08.2018	$62,72 \pm 0,41$	37–100	803	$55,64 \pm 0,32$	35–85	865
16.08.2022	$53,86 \pm 0,45$	10–100	895	$68,42 \pm 0,45$	15–97	873

Примечание. *Здесь и далее в таблицах показаны среднее значение \pm стандартная ошибка.

Note. *Here and further, the tables show the average value \pm the standard error.

Таблица 3. Длина хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на фоновой территории и в техногенном редколесье, мм

Table 3. Length of pine needles (*Pinus sylvestris*) in the background area and man-made sparse forest, mm

Дата отбора Sampling date	Текущий год Current year	n	Min–max	1 год 1 year	n	Min–max	3 года 3 years	n	Min–max
Фон / Background									
15.08.2005	$31,63 \pm 0,09$	1000	22–40	$32,32 \pm 0,11$	672	25–40	$30,75 \pm 0,10$	999	22–45
15.08.2005	$38,14 \pm 4,52$	1000	26–50	$38,03 \pm 4,96$	1000	28–50	$35,07 \pm 4,07$	1000	25–46
15.08.2005	$30,82 \pm 4,66$	1000	20–50	$33,98 \pm 4,78$	1000	23–48	$34,51 \pm 5,30$	867	23–47
Техногенное сосновое редколесье Man-made pine sparse forest									
18.08.2005	$30,52 \pm 0,14$	1000	23–49	$38,10 \pm 0,23$	1000	23–55	$35,85 \pm 0,47$	142	27–48
18.08.2005	$31,37 \pm 0,11$	1000	23–43	$35,13 \pm 0,15$	1000	12–48	$32,76 \pm 0,12$	872	21–41
18.08.2005	$27,35 \pm 0,11$	1000	21–43	$34,11 \pm 0,12$	1000	23–46	$32,83 \pm 0,14$	785	22–42

Таблица 4. Содержание элементов в хвое сосны скрученной, мг/кг

Table 4. Concentrations of elements in the needles of *Pinus contorta*, mg/kg

Дата отбора Sampling date	Ca	Mg	K	Fe	Mn	P	n
Хвоя текущего года Current year's needles							
01.08.2014	2304,4 ± 109,3	1274,3 ± 39,5	7370,3 ± 191,3	32,3 ± 0,7	293,1 ± 7,5	1603,0 ± 29,2	5
16.08.2016	3170,2 ± 189,1	1217,2 ± 103,5	6793,7 ± 302,2	76,6 ± 3,5	246,8 ± 41,6	1503,3 ± 80,0	5
16.08.2022	3773,9 ± 879,3	1200,6 ± 125,0	6424,5 ± 547,9	59,0 ± 5,0	178,7 ± 50,6	1446,4 ± 68,9	5
Хвоя в возрасте 1–3 года Needles aged 1–3 years							
01.08.2014	5516,6 ± 135,3	1715,7 ± 19,2	4476,8 ± 52,5	60,6 ± 1,2	498,6 ± 7,4	880,7 ± 10,5	5
16.08.2016	5924,6 ± 273,2	1608,6 ± 201,1	4998,1 ± 279,3	181,0 ± 6,9	255,7 ± 41,4	806,7 ± 69,4	5
16.08.2022	4818,2 ± 707,2	1853,3 ± 242,2	5082,6 ± 206,0	140,4 ± 9,0	318,6 ± 91,7	897,1 ± 60,0	5

Таблица 5. Содержание элементов в хвое сосны обыкновенной, мг/кг

Table 5. Concentrations of elements in the needles of *Pinus sylvestris*, mg/kg

Дата отбора Sampling date	Возраст хвои, лет Age of needles, yrs	Ni	Cu	Ca	Mg	K	Fe	Mn	P	n
Фон / Background										
26.08.2019	Хвоя текущего года Current year's needles	2,0 ± 0,4	4,0 ± 0,2	1666,2 ± 104,2	1013,4 ± 65,8	6499,1 ± 245,3	30,1 ± 1,9	408,8 ± 69,7	1753,6 ± 66,2	5
26.08.2019	Хвоя в возрасте 1 года Needles aged 1 year	0,6 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3254,2 ± 198,3	916,7 ± 42,8	4186,8 ± 186,3	44,2 ± 3,4	823,2 ± 99,4	1192,2 ± 62,7	5
Техногенное редколесье Man-made sparse forest										
23.08.2019	Хвоя текущего года Current year's needles	55,2 ± 4,6	16,4 ± 1,7	2051,3 ± 160,0	989,9 ± 50,7	5936,6 ± 571,9	41,1 ± 3,1	179,8 ± 9,0	1532,1 ± 54,9	5
23.08.2019	Хвоя в возрасте 1 года Needles aged 1 year	86,8 ± 2,8	24,3 ± 1,4	2979,8 ± 356,6	929,1 ± 28,2	3381,1 ± 182,6	70,5 ± 2,1	265,4 ± 16,5	1053,4 ± 59,9	5

В 2004 г. сотрудниками ООО НПО «Алкахест» саженцы сосны скрученной (предположительно высотой 1–1,5 м) также были посажены в г. Мончегорске вдоль ограды Свято-Вознесенского кафедрального собора (5,5 км восточнее комбината «Североникель»). В настоящее время 8 экз. этих саженцев в хорошем состоянии, имеют высоту от 5 до 8 м, средний диаметр ствола $14,4 \pm 1,1$ см, минимальный – 10,4 см, максимальный – 20,4 см (рис. 9). Имеются шишки разных лет, все особи активно цвели в 2025 г. Можем предположить, что на поражение сернистым газом сосны скрученной влияет направление ветра в зоне расположения комбината «Североникель».

Заключение

Результаты применения саженцев сосны скрученной (*Pinus contorta* var. *latifolia*) при ремедиации растительности на техногенной пустоши в условиях постоянно действующего



Рис. 9. Саженцы сосны скрученной на территории собора, август 2025 г.

Fig. 9. Seedlings of *Pinus contorta* on the territory of the cathedral, August 2025

комбината «Североникель» (АО «Кольская ГМК») вблизи г. Мончегорска оказались неудовлетворительными.

Состояние сосны скрученной в значительной степени зависит от концентрации выбросов в атмосферу, особенно сернистого газа, и направления ветра. За период наблюдений погибло более 90 % саженцев, оставшиеся сосны имеют среднюю высоту $1,2 \pm 0,1$ м, возраст хвои до трех лет, среднюю длину хвои текущего года $53,9 \pm 0,5$ мм, 71 % сосен имеют сухую вершину.

В Мурманской области, на территории, не подверженной влиянию промышленных выбросов, и при промышленном загрязнении выбросами комбината «Североникель» длина хвои саженцев сосны скрученной превышает длину хвои сосны обыкновенной, что согласуется с данными других исследователей по Архангельской области и Республике Коми.

Концентрации основных загрязняющих веществ (Ni, Cu и S) в хвое сосны скрученной в последние годы остаются высокими, особенно в хвое 1–3 лет (в 2022 г. – 156, 23 и 1923 мг/кг соответственно). Установлено, что за период с 2014 по 2022 г. содержание основных элементов питания растений (K, Mn и P) в хвое текущего года сосны скрученной снизилось, а кальция – возросло. В хвое 1–3 лет концентрации Ca, Mg, Fe и Mn достоверно выше ($p < 0,05$), чем в хвое текущего года.

Посадка хвойных пород, в том числе интродуцентов, в зоне влияния выбросов комбината «Североникель» не рекомендуется. Состояние саженцев сосны скрученной вне зоны значительного воздушного загрязнения выбросами комбината «Североникель» (территория кафедрального собора) показывает, что сосна скрученная может быть использована в регионе для озеленения городов и населенных пунктов.

Авторы выражают признательность лаборанту С. В. Жуковой за подготовку проб и сотрудникам ЦКП ИППЭС КНЦ РАН за выполнение химико-аналитических исследований растительных и почвенных образцов.

Литература

Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Алексеев В. М., Жигунов А. В., Бондаренко А. С., Бурцев Д. С. Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // Известия вузов. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 24–33.

Бабич Н. А., Андропова М. М. Сосна скрученная – перспективный интродуцент для озеленения малых

северных городов // Известия вузов. Лесной журнал. 2014. № 6. С. 155–160.

Бирюков С. Н. Эколого-биологическая характеристика сосны скрученной и сосны обыкновенной в северной подзоне европейской тайги (Архангельская область): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2007. 21 с.

Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Под ред. Б. Н. Норина, В. Т. Ярмишко. Л.: Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова АН СССР, 1990. 195 с.

Гутый Л. Н., Федорков А. Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // Известия вузов. Лесной журнал. 2016. № 1. С. 48–54. doi: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.48

Демидова Н. А., Дуркина Т. М., Гоголева Л. Г., Демиденко С. А., Быков Ю. С., Парамонов А. А. Рост и развитие сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) в условиях северной тайги // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2016. № 2. С. 45–59. doi: 10.211178/2079-6080.2016.2.42

Демидова Н. А., Дуркина Т. М., Гоголева Л. Г., Быков Ю. С., Парамонов А. А. Результаты 35-летнего испытания сосны скрученной на Европейском Севере России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 225. С. 90–105. doi: 10.21266/2079-4304.2018.225.90-105

Исаева Л. Г., Лукина Н. В., Горбачева Т. Т., Белова Е. А. Ремедиация нарушенных территорий в зоне влияния медно-никелевого производства // Цветные металлы. 2011. № 11. С. 66–70.

Кайтера Ю. А., Федорков А. Л., Ялканен Р. Е. Распространение побегового рака по градиенту загрязнения среды в Российской и Финской Лапландии // Известия вузов. Лесной журнал. 1996. № 3. С. 26–31.

Кайтера Ю. А., Федорков А. Л., Ялканен Р. Е. Чувствительность сосны обыкновенной к побеговому раку в контрастных условиях загрязнения среды // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35, вып. 2. С. 48–52.

Корчагов С. А., Грибов С. Е., Хамитов Р. С. Опыт выращивания сосны скрученной (*Pinus contorta*) в Вологодской области // Лесной вестник. 2020. Т. 24, № 3. С. 60–65. doi: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65

Крутов В. И. Грибные болезни хвойных пород в искусственных ценозах таежной зоны Европейского Севера СССР. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1989. 208 с.

Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.

Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах / Отв. ред. Л. О. Карпачевский. М.: Наука, 2005. 245 с.

Маркова И. А., Жигунов А. В. Лесокультурные испытания перспективных пород-интродуцентов на Северо-Западе России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 1999. Вып. 165. С. 20–28.

Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области / Государственный комитет СССР по лесу; Архангельский институт леса и лесохимии. Архангельск, 1990. 17 с.

Плюснина С. Н., Федорков А. Л., Гуляев Р. Г. Структура хвой сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах // Лесной вестник. 2024. Т. 28, № 1. С. 46–55. doi: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55

Проблемы экологии растительных сообществ / Отв. ред. В. Т. Ярмишко. СПб.: ВВМ, 2005. 450 с.

Раевский Б. В. Использование быстрорастущих хвойных интродуцентов в лесовосстановлении на Европейском Севере России (на примере сосны скрученной широкохвойной) // Северные территории России: проблемы и перспективы развития: Мат-лы и докл. Всерос. конф. с междунар. участием (г. Архангельск, 23–26 июня 2008). Архангельск, 2008. С. 1125–1129.

Раевский Б. В. Некоторые результаты интродукционных испытаний сосны скрученной в южной Карелии // Ученые записки ПетрГУ. Сер. Естественные и технические науки. 2009. № 7(101). С. 51–59.

Раевский Б. В. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 1. С. 31–38.

Раевский Б. В., Мордась А. А. Ход роста сосны скрученной в подзоне средней тайги // Известия вузов. Лесной журнал. 2005. № 1-2. С. 22–33.

Сает Ю. Е., Раевич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасова А. И., Саркисян С. Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Стафеев Б. Л. Североамериканская сосна скрученная – перспективная порода для интродукционного испытания в Архангельской области // Вопросы интродукции хозяйственно ценных древесных пород на Европейском Севере. Архангельск, 1989. С. 35–43.

Сухарева Т. А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. Вып. 14. С. 438–441.

Федорков А. Л., Туркина А. А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение. 2010. № 1. С. 70–74.

Цветков В. Ф. К проблеме восстановления леса в зоне влияния промышленных выбросов на Кольском полуострове // Проблемы исследования и охраны природы в регионе Белого моря. Мурманск: Кн. изд-во, 1987. С. 148–156.

Цветков В. Ф., Цветков И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 312 с.

Elfving B., Ericsson T., Rosvallb O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // For. Ecol. Manag. 2001. Vol. 141, iss. 1. P. 15–29. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00485-0

Hansson P. *Gremmeniella abietina* in Northern Sweden. Silvicultural aspects of disease development in the introduced *Pinus contorta* and in *Pinus sylvestris*: Doctorial Thesis. SLU, Umea, 1996. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silvestria 10: 40 p. + papers I–V.

Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins Ju. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia // Forest. 2013. Vol. 6. P. 10–14. doi: 10.3832/for0637-006

Karlman M., Hansson P., Witzell J. Scleroderris canker on lodgepole pine introduced in Northern Sweden // Can. J. For. Res. 1994. No. 24. P. 1948–1959. doi: 10.1139/x94-250

Stephan B. R., Schulze I. Scleroderris canker disease of conifers. Bibliography about the Scleroderris canker disease and its pathogen during the past 100 years (1883–1986) / Federal Research Centre of Forest Genetics and Forest Products. Institute of Forest Genetics and Forest Breeding, Grosshansdorf, Germany. IUFRO Working Party S 2.06.02. University of Agricultural Sciences, Umea, 1987. P. 335–349.

Winterhalder K. Environmental degradation and rehabilitation of the landscape around Sudbury, a major mining and smelting area // Environ. Rev. 1996. Vol. 4. P. 185–224. doi: 10.1139/a96-011

Witzell J. Risks associated with the introduction of *Pinus contorta* in northern Sweden with respect to pathogens // For. Ecol. Manag. 2001. Vol. 141(1). P. 97–105. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00492-8

Witzell J., Karlman M. Importance of site type and tree species on disease incidence of *Gremmeniella abietina* in areas with a harsh climate in Northern Sweden // Scand. J. For. Res. 2000. Vol. 15(2). P. 202–209. doi: 10.1080/028275800750015019

References

Alekseev V. A. Diagnostics of the vital condition of trees and stands. *Lesovedenie = Forest Science*. 1989;4:51–57. (In Russ.)

Alekseev V. M., Zhigunov A. V., Bondarenko A. S., Burtsev D. S. Introduction of *Pinus contorta* in the Leningrad Region. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2014;3: 24–33. (In Russ.)

Babich N. A., Andronova M. M. Lodgepole pine – a perspective introduced species for greening of northern smaller cities. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2014;6:155–160. (In Russ.)

Biryukov S. N. Ecological and biological description of lodgepole pine and Scots pine in the northern subzone of the European taiga (Arkhangelsk Region): Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Syktyvkar; 2007. 21 p. (In Russ.)

Demidova N. A., Durkina T. M., Gogoleva L. G., Bykov Y. S., Paramonov A. A. Results of a 35-year trial of lodgepole pine in the European north of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii = Proceedings of St. Petersburg Forestry Engineering Academy*. 2018;225:90–105. (In Russ.). doi: 10.21266/2079-4304.2018.225.90-105

Demidova N. A., Durkina T. M., Gogoleva L. G., Demidenko S. A., Bykov Yu. S., Paramonov A. A. Growth and development of a lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) in a northern boreal forest. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva = Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute*. 2016; 2:45–59. (In Russ.). doi: 10.21178/2079-6080.2016.2.42

Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. *For. Ecol. Manag.* 2001;141(1):15–29. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00485-0

Fedorkov A. L., Turkina A. A. Experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic. *Lesovedenie = Forest Science*. 2010;1:70–74. (In Russ.)

Gutii L. N., Fedorkov A. L. Experimental plantations of lodgepole pine in the Syktyvkar forestry in the Komi Republic. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2016;1:48–54. (In Russ.). doi: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.48

Hansson P. *Gremmeniella abietina* in Northern Sweden. Silvicultural aspects of disease development in the introduced *Pinus contorta* and in *Pinus sylvestris*: Doctoral Thesis. Umea; 1996. 40 p.

Isaeva L. G., Lukina N. V., Gorbacheva T. T., Belova E. A. Remediation of disturbed territories in the zone of influence of copper-nickel production. *Tsvetnye metally = Non-Ferrous Metals*. 2011;11:66–70. (In Russ.)

Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins Ju. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia. *Forest*. 2013;6:10–14. doi: 10.3832/for0637-006

Kaitera Yu. A., Fedorkov A. L., Jalkanen R. E. Sensitivity of Scots pine shoots to infection by *Gremmeniella abietina* var. *abietina* in contrasting conditions of environmental pollution. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2001;35(2):48–52. (In Russ.)

Kaitera Yu. A., Fedorkov A. L., Jalkanen R. E. The spread of shoot cancer along the gradient of environmental pollution in Russian and Finnish Lapland. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 1996;3:26–31. (In Russ.)

Karlman M., Hansson P., Witzell J. Scleroderris canker on lodgepole pine introduced in Northern Sweden. *Can. J. For. Res.* 1994;24:1948–1959. doi: 10.1139/x94-250

Korchagov S. A., Gribov S. E., Khamitov R. S. The experience of growing lodgepole pine (*Pinus contorta*) in the Vologda Region. *Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin*. 2020;24(3):60–65. (In Russ.). doi: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65

Krutov V. I. Fungal diseases of coniferous species in artificial cenoses of the taiga zone of the European north of the USSR. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1989. 208 p. (In Russ.)

Lukina N. V., Nikonov V. V. Nutrient status of north taiga forests: natural regularities and pollution-induced changes. Apatity: KSC RAS; 1998. 316 p. (In Russ.)

Lukina N. V., Sukhareva T. A., Isaeva L. G. Pollution-induced digressions and rehabilitation successions

in Northern taiga forests. Moscow: Nauka; 2005. 245 p. (In Russ.)

Markova I. A., Zhigunov A. V. Forest culture tests of perspective foreign tree species in the North-West of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii = Proceedings of St. Petersburg Forestry Engineering Academy*. 1999;165;20–28. (In Russ.)

Methodological recommendations for assessing the existing and projected state of forest plantations in the zone of influence of industrial enterprises of the Murmansk Region. USSR State Forestry Committee; Arkhangelsk Institute of Forestry and Forest Chemistry. Arkhangelsk; 1990. 17 p. (In Russ.)

Norin B. N., Yarmishko V. T. (eds.). The impact of industrial atmospheric pollution on the pine forests of the Kola Peninsula. Leningrad: BIN AN SSSR; 1990. 195 p. (In Russ.)

Plyusnina S. N., Fedorkov A. L., Gulyaev R. G. Needle structure of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures. *Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin*. 2024;28(1):46–55. (In Russ.). doi: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55

Raevsky B. V. Growth and development of lodgepole pine and Scots pine in mixed plantings in south Karelia. *Izvestiya Komi NTS URO RAN = Proceedings of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010;1:31–38. (In Russ.)

Raevsky B. V. Some results of introduction tests of lodgepole pine in south Karelia. *Uchenye zapiski PetRGU. Ser. Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Technical Sciences*. 2009;7(101):51–59. (In Russ.)

Raevsky B. V. The use of fast-growing coniferous introducers in reforestation in the European North of Russia (on the example of lodgepole pine). *Severnye territorii Rossii: problemy i perspektivy razvitiya: Materialy i doklady Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Arkhangel'sk, 23–26 iyunya 2008) = Northern territories of Russia: problems and prospects of development: Proceedings of the All-Russian conf. with int. part. (Arkhangel'sk, June 23–26, 2008)*. Arkhangelsk; 2008. P. 1125–1129. (In Russ.)

Raevsky B. V., Mordas A. A. Growth Progress of Lodgepole Pine Plantation in the Middle Taiga Subzone. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2005; 1-2:22–33.

Saet Yu. E., Raevich B. A., Yanin E. P., Smirnova R. S., Basharkevich I. L., Onishchenko T. L., Pavlova L. N., Trefilova N. Ya., Achkasova A. I., Sarkisyan S. Sh. Geochemistry of the environment. Moscow: Nedra; 1990. 335 p. (In Russ.)

Stafeev B. L. North American lodgepole pine is a perspective species for introduction testing in the Arkhangelsk Region. *Voprosy introduksii khozyaistvenno tsennykh drevesnykh porod na Evropeiskom Severe = Issues of introduction of economically valuable tree species in the European North*. Arkhangelsk; 1989. P. 35–43. (In Russ.)

Stephan B. R., Schulze I. Scleroderris canker disease of conifers. Bibliography about the Scleroderris canker disease and its pathogen during the past

100 years (1883–1986). *Federal Research Centre of Forest Genetics and Forest Products. Institute of Forest Genetics and Forest Breeding*, Grosshansdorf, Germany. IUFRO Working Party S 2.06.02. University of Agricultural Sciences, Umea; 1987. P. 335–349.

Sukhareva T. A. Features of the accumulation of chemical elements by trees plants of Northern Taiga forests in background and technogenically disturbed territories. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTS RAN = Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Geological Institute of the Kola Scientific Center of the RAS*. 2017;14:438–441. (In Russ.)

Tsvetkov V. F. On the problem of forest restoration in the zone of influence of industrial emissions on the Kola Peninsula. *Problemy issledovaniya i okhrany prirody v regione Belogo morya = Problems of research and nature conservation in the White Sea region*. Murmansk; 1987. P. 148–156. (In Russ.)

Tsvetkov V. F., Tsvetkov I. V. Industrial environmental pollution and forests. Arkhangelsk: SAFU; 2012. 312 p. (In Russ.)

Winterhalder K. Environmental degradation and rehabilitation of the landscape around Sudbury, a major mining and smelting area. *Environ. Rev.* 1996;4:185–224. doi: 10.1139/a96-011

Witzell J. Risks associated with the introduction of *Pinus contorta* in northern Sweden with respect to pathogens. *For. Ecol. Manag.* 2001;141(1):97–105. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00492-8

Witzell J., Karlman M. Importance of site type and tree species on disease incidence of *Gremmeniella abietina* in areas with a harsh climate in Northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 2000;15(2):202–209. doi: 10.1080/028275800750015019

Yarmishko V. T. (ed.). Problems of ecology of plant communities. St. Petersburg: VVM; 2005. 450 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 11.04.2025; принята к публикации / accepted: 17.11.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Исаева Людмила Георгиевна

канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
лаборатории наземных экосистем

e-mail: l.isaeva@ksc.ru

Рябов Николай Сергеевич

инженер 1 категории, аспирант Лаборатории наземных
экосистем

e-mail: n.ryabov@ksc.ru

CONTRIBUTORS:

Isaeva, Ludmila

Cand. Sci. (Agr.), Associate Professor, Leading Researcher

Ryabov, Nikolay

Engineer, Doctoral Student