

УДК 507.5 (470.21)

## Оценка состояния зеленых насаждений в зоне воздействия комбината "Печенганикель" (Мурманская область)

Л. Г. Исаева, Т. А. Сухарева\*

\*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;  
e-mail: [s.tat.a@mail.ru](mailto:s.tat.a@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>

Информация о статье      Реферат

Поступила  
в редакцию  
29.12.2020;

получена  
после доработки  
05.02.2021

Ключевые слова:

деревья,  
кустарники,  
атмосферное  
загрязнение,  
повреждения,  
тяжелые металлы,  
Арктика

Для цитирования

Изучение состояния зеленых насаждений урбанизированных территорий обусловлено их важной санитарно-гигиенической и эстетической ролью в суровых климатических условиях Арктики. Объектами исследований послужили зеленые насаждения пгт Никель (Мурманская область). Проведена оценка распределения древесно-кустарниковых пород по категориям жизненного состояния; выявлены повреждения листьев атмосферными выбросами, насекомыми и грибами. Высокая степень повреждения от загрязнения отмечена у березы, рябины и черемухи; осина до 85 % повреждена тлей; механическое нарушение стволов отмечено примерно у 26 % обследованных деревьев; 5 % деревьев имеют морозобойные трещины ствола. В ходе сравнительной оценки химического состава листьев березы, произрастающей на урбанизированной территории пгт Никель и в лесных экосистемах по градиенту атмосферного загрязнения в зоне воздействия комбината "Печенганикель", установлено, что концентрации поллютантов в листьях березы техногенно нарушенных территорий превышают фоновые значения. Листья березы в южном направлении от комбината аккумулируют более высокие концентрации Ni, Cu, Pb, Co, Fe, чем в западном и северном направлениях. В 2019 г. концентрации тяжелых металлов в листьях березы возросли по сравнению с предыдущим периодом исследования (2004 г.). На городской территории содержание поллютантов превышает не только значения регионального фона, но и уровни, выявленные в лесных экосистемах по градиенту атмосферного загрязнения. Коэффициенты концентрации *C<sub>c</sub>* показывают аномально высокие значения для Ni, Cu, Pb, Co, Fe; максимальные значения *C<sub>c</sub>* отмечены для Ni и Co.

Исаева Л. Г. и др. Оценка состояния зеленых насаждений в зоне воздействия комбината "Печенганикель" (Мурманская область). Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 1. С. 97–106. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-97-106>.

## Assessment of the green spaces' state in the impact zone of the Pechenganikel smelter, the Murmansk region

Ludmila G. Isaeva, Tatyana A. Sukhareva\*

\*Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of RAS,  
Apatity, Murmansk region, Russia;  
e-mail: [s.tat.a@mail.ru](mailto:s.tat.a@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>

Article info

Received  
29.12.2020;

received  
in revised  
05.02.2021

Key words:

trees,  
shrubs,  
air pollution,  
damage,  
heavy metals,  
Arctic

Abstract

The study of the state of green spaces in urbanized areas is important due to their sanitary, hygienic and aesthetic role in the harsh climatic conditions of the Arctic. The objects of research were the green spaces of the urban-type settlement Nikel (the Murmansk region). The assessment of the distribution of tree and shrub species by categories of life state was carried out; revealed damage to leaves by atmospheric emissions, insects and fungi. A high degree of damage from pollution was noted in birch, mountain ash and bird cherry; aspen up to 85 % damaged by aphids; mechanical damage to the trunks was noted in about 26 % of the surveyed trees; 5 % of trees have frost cracks in the trunk. In the course of a comparative assessment of the chemical composition of birch leaves growing in the urbanized territory of Nikel and in forest ecosystems along the gradient of atmospheric pollution in the impact zone of the Pechenganikel plant, it was found that the concentrations of pollutants in birch leaves in technologically disturbed areas exceed background values. Birch leaves in the southern direction from the plant accumulate higher concentrations of Ni, Cu, Pb, Co, Fe than in the western and northern directions. In 2019, the concentrations of heavy metals in birch leaves increased compared to the previous study period (2004). In the urban area, the content of pollutants exceeds not only the values of the regional background, but also the levels identified in forest ecosystems along the gradient of atmospheric pollution. Concentration coefficients *C<sub>c</sub>* show abnormally high values for Ni, Cu, Pb, Co, Fe; the maximum *C<sub>c</sub>* values are noted for Ni and Co.

For citation

Isaeva, L. G. et al. 2021. Assessment of the state of green spaces under of the Pechenganikel smelter, Murmansk region. *Vestnik of MSTU*, 24(1), pp. 97–106. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-97-106>.

## Введение

Зеленые насаждения используются в процессе благоустройства городов, населенных пунктов и имеют большое санитарно-гигиеническое, эстетическое и народно-хозяйственное значение (Гонтарь и др., 2010). Чрезвычайно ценна фитосанитарная роль городских насаждений как источника чистого воздуха, поглотителя пыли и вредных производственных выделений (Гонтарь и др., 2010; Святковская и др., 2012).

Административный центр Печенгского района Мурманской области поселок городского типа (пгт) Никель расположен на левом берегу реки Колосйоки в 196 км к северо-западу от Мурманска (в непосредственной близости от границ с Норвегией и Финляндией).

Горно-металлургический комбинат "Печенганикель", входящий в АО "Кольская горно-металлургическая компания" концерна "Норильский никель", является градообразующим предприятием, на котором работают около 2,2 тыс. человек. Промышленные выбросы комбината "Печенганикель" много десятилетий считаются серьезной экологической проблемой и одним из крупнейших источников атмосферного загрязнения в Арктике; комбинат ежегодно выбрасывает около 100 тыс. т диоксида серы.

Состояние растительности пгт Никель и его окрестности вызывает интерес у научных исследователей (Алексеев и др., 2010а; 2010б; Ежов, 2010; 2011; Мюльгаузен и др., 2017; Василевская и др., 2018; Vassilieva, 1993). В ходе изучения данной проблемы выявлено, что более половины ландшафтов (58 %) окрестностей горно-металлургического комбината "Печенганикель" характеризуется нарушенным почвенно-растительным покровом (Мюльгаузен и др., 2019).

Сведения о содержании химических элементов в фотосинтезирующих органах имеет большое индикационное значение для мониторинга негативных воздействий на лесные экосистемы и оценки состояния зеленых насаждений урбанизированных территорий (Кузнецова и др., 2015; Котчик и др., 2016; Михайлова и др., 2020; Kowalska et al., 2016; Lyanguzova, 2017; Zakrzewska et al., 2018). Береза – типичное древесное растение бореальных лесов – широко применяется при озеленении городских и промышленных территорий. В биоиндикационных исследованиях береза часто выступает как объект наблюдений благодаря высоким газопоглощающим и пылеосаждающим свойствам.

Цель настоящего исследования – оценка современного состояния зеленых насаждений пгт Никель в условиях долговременного воздействия медно-никелевого комбината "Печенганикель".

## Материалы и методы

Район исследований характеризуется коротким вегетационным периодом с высокой влажностью воздуха, мягкой зимой и сильными ветрами.

Поселок Никель расположен на слабохолмистой по рельефу местности. С востока непосредственно к городу примыкает территория комбината "Печенганикель". Главная улица – Гвардейский проспект – пересекает поселок с северо-востока на юго-запад. Современные зеленые насаждения на территории пгт Никель представлены уличными зелеными насаждениями, скверами, массивами из дикорастущих кустарников, расположенных по периферии. Зеленые посадки сформированы в основном ивой козьей (*Salix caprea* L.) и ивами кустовой формы (*Salix phylicifolia* L., *Salix lanata* L. и др.), осинкой (*Populus tremula* L.), рябиной Городкова (*Sorbus gorodkovii* Pojark.), черемухой северной (*Padus borealis* Schübel.) и березой Черепанова (*Betula czerepanovii* Orlova).

Значительные трудности в озеленении населенных пунктов Печенгского района связаны с маломощностью и завалуненностью местных почв, частым выходом на поверхность коренных пород, сложностью микрорельефа застраиваемой территории. Даже небольшие различия в высотах участков города и микрорайонов существенно отражаются на условиях роста растений. На верхних участках населенных пунктов лимитирующим фактором становится ветер (Гонтарь и др., 2010).

Обследование зеленых насаждений пгт Никель выполнено в августе 2019 г. Объектами исследований послужили искусственно созданные зеленые насаждения на пр. Гвардейском и ул. Победы. Обследование зеленых насаждений проводилось маршрутным методом с визуальным определением степени поврежденности растительности, полным пересчетом поврежденных деревьев и кустарников (по породам). Диаметр ствола дерева измерялся на высоте 1,3 м мерной вилкой.

Категории жизненного состояния устанавливали по совокупности признаков: состоянию ствола и ветвей, ажурности крон, приросту по высоте, изменению размеров хвои или листьев, наличию хлорозов и некрозов хвои или листьев, повреждений грибами и насекомыми<sup>1</sup> (Влияние промышленного атмосферного загрязнения..., 1990; Лесные экосистемы..., 1990; Королева и др., 2017; Исаева и др., 2020). Степень повреждения рассчитывали по наличию в древостоях деревьев разных категорий состояния. С этой целью использовали индекс состояния (индекс повреждения), который определяли по формуле

$$In = (n_1K_1 + n_2K_2 + \dots + n_6K_6) / N,$$

<sup>1</sup> См.: Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области. Архангельск, 1990. 17 с.; Правила санитарной безопасности в лесах. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047.

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

Шкала по региональным придержкам для оценки жизненного состояния древостоев представлена в табл. 1.

Таблица 1. Региональные придержки для оценки жизненного состояния древостоев  
Table 1. Regional estimates for assessing the life status of stands

Категория состояния лесных насаждений	Показатели по категориям состояния (шкала, указанная в Правилах санитарной безопасности в лесах, 2020 г.)	Категория состояния лесных насаждений	Показатели по категориям состояния (шкала, скорректированная с учетом условий Кольского полуострова (Карпенко, 1984))
Без признаков ослабления	1–1,5	Здоровые	До 1,55
Ослабленные	1,51–2,5	Ослабленные	1,56–2,55
Сильно ослабленные	2,51–3,5	Среднеослабленные	2,56–3,55
Усыхающие (гибнущие)	3,51–4,5	Сильно ослабленные (гибнущие)	3,56–4,55
Погибшие	Более 4,5	Погибшие	4,56 и более

Степень поражения растительности (деревьев и кустарников) промвыбросами классифицировали по следующим градациям: до 10%, 11–20, 21–50, 51–70 и 71–100 %.

Для оценки загрязнения растений были отобраны образцы листьев березы (*Betula czerepanovii* Orlova) в пгт Никель и на постоянных мониторинговых площадях на различном удалении от комбината "Печенганикель" (5, 7, 12, 14, 44) в южном, северном и западном направлениях от комбината. Фоновая территория расположена на значительном удалении от источника загрязнения (260 км), в юго-западной части Мурманской области (Кандалакшский район).

Концентрации химических элементов анализировали в вытяжке после мокрого озонирования концентрированной азотной кислотой. Металлы (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb,) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, К – атомно-эмиссионной спектрометрии; Р – фотоколориметрическим методом; S – турбидиметрическим методом. Химико-аналитические работы проведены в Центре коллективного пользования "Физико-химические методы анализа" Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН.

В работе рассчитаны коэффициенты концентрации  $K_c$ , позволяющие оценить уровень содержания тяжелых металлов (ТМ) и серы в листьях березы при техногенной нагрузке по отношению к среднефоновому содержанию.

При определении различий и вариабельности химического состава листьев березы проводилась оценка средних значений и стандартной ошибки с помощью пакета программ Microsoft Excel. Анализ достоверности различий средних значений осуществляли с использованием  $U$ -критерия Манна – Уитни и программы Statistica 10.

## Результаты и обсуждение

В процессе исследования осмотрено более 500 стволов древесно-кустарниковых пород. В посадках на ул. Гвардейской преобладают рябина и ива, на ул. Победы – рябина и осина. В незначительных количествах присутствует черемуха. Распределение древесно-кустарниковых пород по категориям жизненного состояния представлено в табл. 2.

Таблица 2. Распределение древесно-кустарниковых пород по категориям жизненного состояния, %  
Table 2. Distribution of tree and shrub species by categories of living conditions, %

Порода	Категория жизненного состояния деревьев						Индекс повреждения
	1	2	3	4	5	6	
Береза Черепанова	9	49	42	0	0	0	2,32
Осина	57	29	14	0	0	0	1,56
Ива кустовой формы	10	40	43	7	0	0	2,57
Ива козья	34	50	8	4	0	4	1,88
Рябина Городкова	10	34	27	13	5	11	3,01
Черемуха северная	0	27	73	0	0	0	2,72

В соответствии со шкалой, скорректированной к условиям Кольского полуострова (табл. 1) (Карпенко и др., 1984), осина, береза и ива козья слабо повреждены; ивы кустовой формы, рябина и черемуха имеют среднюю степень ослабления (рис. 1). В ходе исследования, проведенного в 2010 г., состояние растений изменялось от хорошего до сильно ослабленного: значительно ослаблены черемуха и береза; наиболее устойчивы к загрязнению осина и рябина (Алексеев и др., 2010а).



Рис. 1. Повреждение листьев рябины и ивы промвыбросами  
Fig. 1. Loss of rowan and willow leaves by industrial waste

Следует отметить, что ветровой режим на рассматриваемой территории подвержен сезонности: в зимний период преобладают южные и юго-западные ветры; летом – ветры преимущественно северных и северо-восточных направлений<sup>2</sup>. Если в вегетационный период возникает южный ветер, то происходит увеличение загрязнения атмосферного воздуха жилой зоны выбросами комбината "Печенганикель". В 2009 г. (по данным непрерывных наблюдений в атмосферном воздухе пгт Никель) в летний период (май, июль, август) отмечались три случая высокого загрязнения (содержание диоксида серы превышало максимальную разовую концентрацию в 10 и более раз): в мае – 11 ПДК; июле – 14; августе – 11 ПДК<sup>3</sup>. В августе 2019 г. 18 дней в пгт Никель наблюдались метеоусловия, способствующие накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от 1,1 до 4,9 ПДК (данные архива по Мурманскому УГМС, [kolgimet.ru](http://kolgimet.ru)). В атмосферном воздухе пгт Никель повышенные концентрации регистрировались при неблагоприятных метеоусловиях: ветер северо-восточного направления, штили, температурные инверсии<sup>4</sup>.

Промышленными выбросами в различной степени повреждены почти все деревья и кустарники; состояние осины и ивы козья лучше по отношению к другим породам. Высокую степень повреждения от загрязнения выбросами комбината имели береза, рябина и черемуха (табл. 3).

Таблица 3. Распределение древесно-кустарниковых пород по степени повреждения промвыбросами  
Table 3. Distribution of tree and shrub species by the degree of damage caused by industrial emissions

Порода	Средний диаметр ствола, см	Степень поражения кроны, %					
		0	До 10	11–20	21–50	51–70	71–100
Береза Черепанова	13,1	0	9	30	30	26	5
Осина	15,0	22	44	23	8	3	0
Ива кустовой формы	8,8	3	27	34	23	13	0
Ива козья	9,2	4	46	33	13	0	4
Рябина Городкова	11,7	0	15	28	27	14	16
Черемуха северная	12,8	0	9	9	36	46	0

В Мурманской области в течение четырех лет повсеместно листья осины активно повреждаются тлей (рис. 2). Результаты обследования, проведенные в августе 2019 г., показали, что 15 % осин не имеют изменений, 65 % – повреждены тлей в слабой степени, 20 % – в средней. Листья ивы кустовой формы у отдельных экземпляров были поражены ивовым ягодным клещиком. Поскольку насаждения расположены вдоль улиц, наблюдается механическое повреждение стволов примерно у 26 % от всех обследованных деревьев. В связи с суровыми условиями произрастания 5 % деревьев имеют морозобойные трещины ствола.

<sup>2</sup> Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 2. Мурманская область. Л., 1988. 320 с.

<sup>3</sup> Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2008 г. Мурманск, 2009. 152 с.

<sup>4</sup> Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2019 г. Мурманск, 2020. 177 с.

Единичные деревья поражены грибами (чага, язвенный рак ствола, центральная трещиноватая гниль ствола). Почти все древесно-кустарниковые породы, участвующие в озеленении поселка, имеют много сухих веток; отмечено единичное присутствие бабочек пяденицы осенней на стволах березы (рис. 2).



Рис. 2. Повреждение листьев осины тлей. Бабочка осенней пяденицы на стволе березы  
Fig. 2. Damage to aspen leaves by aphids. The butterfly of the autumnal moth on the trunk of a birch tree

В ходе исследования проведена сравнительная оценка химического состава листьев березы в лесных экосистемах, подверженных влиянию медно-никелевого комбината "Печенганикель", и на территории пгт Никель.

Результаты анализа содержания химических элементов в листьях березы представлены в табл. 4. В ненарушенных экосистемах содержание углерода в листьях березы варьировало в диапазоне 45–52 %. Из зольных элементов преобладали азот, калий, кальций. В неповрежденных экосистемах в значительных концентрациях в листьях накапливались магний, сера и цинк. Полученные результаты подтверждают тот факт, что ассимилирующие органы березы характеризуются высоким содержанием минеральных элементов (Сухарева, 2017). В условиях атмосферного загрязнения выявлено существенное снижение элементов питания: Са, К, Мп, Zn ( $p < 0,05$ ). На пробных площадках в южном и северном направлениях от комбината отмечено снижение содержания марганца. Концентрации фосфора сопоставимы с фоновыми значениями или превышают таковые.

Таблица 4. Элементный состав листьев березы в процессе техногенной дигрессии северотаежных лесов в районе воздействия комбината "Печенганикель", 2019 г.  
Table 4. Chemical composition of birch leaves in the process of technogenic digression of North taiga forests in the zone of influence of the smelter "Pechenganikel", 2019

Элемент	Пробная площадь, направление от комбината, км					
	Фон (ЮЗ, 260)	Rus0 (Ю, 44)	S05 (Ю, 14)	N06 (С, 12)	S03 (Ю, 7)	Rus1 (3, 5)
С, %	48 ± 1	48 ± 1	50 ± 1	53 ± 1	51 ± 1	51 ± 1
N, г/кг	19,8 ± 0,4	17,8 ± 0,2	19,6 ± 0,3	19,5 ± 0,8	19,7 ± 0,4	16,4 ± 0,3
K, г/кг	9,2 ± 0,6	6,1 ± 0,2	5,1 ± 0,1	7,6 ± 0,4	6,7 ± 0,1	7,8 ± 0,7
Ca, г/кг	8,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1	3,8 ± 0,2	4,8 ± 0,5	6,0 ± 0,5
Mg, г/кг	3,0 ± 0,1	3,0 ± 0,1	2,3 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,3 ± 0,1	3,1 ± 0,1
P, г/кг	2,2 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,2
S, г/кг	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Mn, мг/кг	1 734 ± 79	701 ± 28	1 359 ± 48	824 ± 62	445 ± 56	759 ± 39
Zn, мг/кг	204 ± 11	118 ± 10	115 ± 3	90 ± 4	117 ± 20	136 ± 18
Fe, мг/кг	53 ± 2	77 ± 4	236 ± 10	151 ± 4	406 ± 20	218 ± 7
Al, мг/кг	13 ± 1	15 ± 1	28 ± 1	26 ± 2	43 ± 2	24 ± 1
Cu, мг/кг	4,8 ± 0,2	7,5 ± 0,2	29,5 ± 1,0	19,1 ± 0,6	46,0 ± 2,1	26,0 ± 0,9
Ni, мг/кг	4,0 ± 0,6	21,4 ± 0,8	96,8 ± 2,3	88,4 ± 1,8	178,2 ± 10,1	105,2 ± 8,0
Pb, мг/кг	0,04 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,53 ± 0,04	0,29 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,55 ± 0,04
Cd, мг/кг	0,12 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01
Co, мг/кг	0,09 ± 0,03	0,36 ± 0,03	2,50 ± 0,08	1,84 ± 0,10	4,19 ± 0,24	2,63 ± 0,08

Примечание. В табл. 4 и 5 приведены средние значения (± стандартная ошибка).

Рассчитанные коэффициенты концентрации  $K_c$  позволяют оценить уровень содержания поллютантов в листьях березы при техногенной нагрузке по отношению к среднефоновому содержанию. В соответствии с величиной коэффициента концентрации содержания тяжелых металлов (Fe, Ni, Cu, Pb, Co) в листьях березы следует считать аномальными ( $K_c \geq 1,5$ ). Наиболее значительное превышение фоновых концентраций в листьях характерно для никеля и кобальта, коэффициенты концентрации которых имеют близкие значения и варьируют от 4 до 45 в зависимости от стадии техногенной дигрессии лесов. Коэффициенты концентрации для железа находятся в диапазоне 1,4–8, меди – 2–10, свинца – 3–20. Концентрация серы в листьях в нарушенных лесных экосистемах возрастает в 1,5–2 раза по сравнению с региональным фоном. Содержание Cd в листьях березы сопоставимо с фоновыми значениями.

На пробных площадках (ПП) в южном направлении от комбината листья березы аккумулируют высокие концентрации Ni, Cu, Pb, Co, Fe по сравнению с ПП, расположенными в западном и северном направлениях ( $p < 0,05$ ), что может быть обусловлено особенностями ветрового режима района исследования. Согласно среднегодовым данным метеостанции "Печенганикель", преобладающими на данной территории являются южные и юго-западные ветры, повторяемость которых составляет 31 и 16 % соответственно<sup>5</sup>.

В 2019 г. концентрации тяжелых металлов в листьях березы возросли по сравнению с предыдущим периодом исследования (2000–2004 гг.), когда уровни ТМ были сопоставимы со значениями 1991 г. или даже снижались (*Кольская горно-металлургическая компания...*, 2012) (рис. 3). В 2019 г. содержание никеля на ПП в южном и северном направлениях от комбината превышали значения 1991 г. в 2–2,6 раза, а в западном направлении – вновь достигли уровня 1991 г. В южном и западном направлениях по градиенту атмосферного загрязнения концентрации Cu достоверно ( $p < 0,05$ ) возросли относительно 2000–2004 гг. В содержании серы существенных изменений не произошло. Отсутствие позитивных изменений в динамике поллютантов в листьях березы может быть обусловлено сохраняющимися высокими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и долговременным эффектом аккумуляции ТМ в лесных экосистемах.

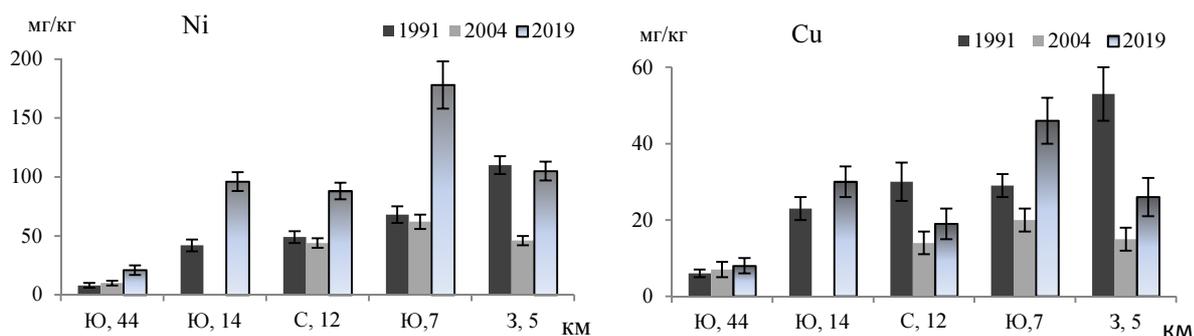


Рис. 3. Концентрации Ni и Cu в листьях березы на постоянных мониторинговых площадках в южном (Ю), северном (С) и западном (З) направлениях от комбината "Печенганикель"

Fig. 3. Concentrations of Ni and Cu in the birch leaves at permanent monitoring plots in the southern, northern and western directions from the smelter "Pechenganikel"

В зоне воздействия комбината "Печенганикель" сохраняется высокая степень техногенной нагрузки на лесные экосистемы, что подтверждается негативными изменениями в химическом составе березы в исследуемые периоды (1991, 2000, 2004, 2019 гг.). Концентрации ТМ в листьях березы в условиях атмосферного загрязнения выше фоновых значений.

В результате проведенной оценки химического состава листьев березы, формирующей зеленые насаждения в пгт Никель (табл. 5), можно сделать вывод о том, что концентрации таких важных элементов питания, как N, K, Ca, в листьях березы урбанизированной территории достоверно ( $p < 0,05$ ) превышают фоновые показатели, а также значения, обнаруженные в лесных экосистемах на различном удалении от комбината "Печенганикель". Вероятно, этот факт связан с применением привозного грунта при озеленении территории поселка.

На городской территории содержание ТМ превышают не только значения регионального фона, но и уровни, выявленные в лесных экосистемах по градиенту атмосферного загрязнения от комбината "Печенганикель". Коэффициенты концентрации показывают аномально высокие значения для всех рассматриваемых ТМ (табл. 6). Максимальные значения отмечены для никеля ( $K_c = 306$ ) и кобальта ( $K_c = 394$ ). Обнаружены значимые различия в концентрации ТМ и серы в листьях на ул. Победы по сравнению с Гвардейским проспектом, что объясняется их разной удаленностью от источника загрязнения.

<sup>5</sup> Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 2. Мурманская область. Л., 1988. 320 с.

Таблица 5. Элементный состав листьев березы в пгт Никель  
Table 5. Chemical composition of birch leaves in the urban-type settlement of Nikel

Элемент	Улица Победы	Гвардейский проспект
C, %	50 ± 1	50 ± 1
N, г/кг	24,5 ± 0,7	21,5 ± 1,2
K, г/кг	14,2 ± 1,7	17,2 ± 0,8
Ca, г/кг	10,3 ± 2,5	10,8 ± 1,2
Mg, г/кг	3,5 ± 0,1	2,5 ± 0,2
P, г/кг	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,3
S, г/кг	3,7 ± 0,3	3,0 ± 0,8
Mn, г/кг	134 ± 25	126 ± 33
Zn, мг/кг	135 ± 26	171 ± 30
Fe, мг/кг	3 007 ± 698	1 570 ± 95
Al, мг/кг	369 ± 37	226 ± 22
Cu, мг/кг	554 ± 87	184 ± 14
Ni, мг/кг	1 210 ± 190	417 ± 30
Pb, мг/кг	8,16 ± 0,43	4,43 ± 0,47
Cd, мг/кг	0,64 ± 0,09	2,07 ± 0,17
Co, мг/кг	35,56 ± 5,32	12,96 ± 0,78

Таблица 6. Коэффициенты концентрации поллютантов в листьях березы по градиенту атмосферного загрязнения от комбината "Печенганикель" и в пгт Никель  
Table 6. The coefficients of the concentration of pollutants in birch leaves according to the gradient of atmospheric pollution from the smelter "Pechenganikel" and in the urban-type settlement of Nikel

Место отбора	Ni	Co	Pb	Cu	Fe	Cd	S
Градиент загрязнения							
Rus0, 44	5,4	3,9	2,5	1,6	1,4	0,6	1,4
S05, 14	24,5	26,9	12,4	6,2	4,4	1,4	1,9
N06, 12	22,4	19,8	6,7	4,0	2,8	1,0	1,7
S03, 7	45,1	45,2	19,2	9,6	7,6	1,2	2,1
Rus1, 5	26,6	28,3	12,8	5,4	4,1	1,2	1,7
Поселок Никель							
Улица Победы	306,1	394,3	189,0	115,7	56,3	5,4	4,9
Гвардейский проспект	105,4	139,7	102,6	38,4	29,4	17,4	4,0

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о высокой аккумулирующей способности растений в условиях азротехногенного воздействия в процессе техногенной дигрессии северотаежных лесов, а также зеленых насаждений урбанизированных территорий.

#### Заключение

В 2019 г. проведена оценка состояния зеленых насаждений в зоне расположения медно-никелевого комбината "Печенганикель" (пгт Никель, Мурманская область). На данной территории периодически отмечается значительное превышение ПДК загрязняющих веществ в приземном слое воздуха. Высокие уровни регионального загрязнения обуславливают ответную реакцию растений на азротехногенное воздействие. Промвыбросами в различной степени повреждены почти все деревья и кустарники урбанизированной территории. Сильно ослабленную степень повреждения от загрязнения выбросами комбината имеют береза (*Betula czerepanovii*), черемуха (*Padus borealis*) и рябина (*Sorbus gorodkovii*). В Мурманской области в 2016–2019 гг. листья осины (*Populus tremula*) повсеместно повреждаются тлей. Результаты обследования осины в августе 2019 г. показали, что листья 65 % осин повреждены в слабой степени, 20 % – в средней. Механическое повреждение стволов отмечено примерно у 26 % от всех обследованных деревьев; 5 % деревьев имеют морозобойные трещины ствола. К условиям постоянного воздушного загрязнения в пгт Никель наиболее устойчивыми оказались ива козья (*Salix caprea*) и осина (*Populus tremula*). Учитывая тот факт, что в ближайшие годы промвыбросы комбината "Печенганикель" будут значительно снижены, зеленые насаждения оправятся, их состояние улучшится. В настоящее время, кроме рубки усохших деревьев и осветления посадок, никакого ухода не требуется; зеленые насаждения поселка выглядят удовлетворительно. В будущем можно применить предложения по использованию растений в озеленительных посадках для городов

Мурманской области, разработанные сотрудниками Полярно-альпийского ботанического сада-института (Гонтарь и др., 2010), которые актуальны и в условиях пгт Никель.

В зоне воздействия комбината "Печенганикель" сохраняется высокая степень техногенной нагрузки на урбанизированные территории и лесные экосистемы, что подтверждается негативными изменениями в химическом составе березы в разные периоды наблюдений (1991, 2000, 2004, 2019 гг.). В соответствии с величиной коэффициента концентрации  $K_c$  содержания тяжелых металлов (Fe, Ni, Cu, Pb, Co) в листьях березы характеризуются как аномальные ( $K_c \geq 1,5$ ). Наиболее интенсивно накапливаются в листьях никель и кобальт. На городской территории содержание ТМ в ассимилирующих органах березы превышает не только значения регионального фона, но и уровни, выявленные в лесных экосистемах по градиенту атмосферного загрязнения от комбината "Печенганикель". В 2019 г. на постоянных мониторинговых площадках отмечено увеличение концентрации тяжелых металлов в листьях березы по сравнению с предыдущим периодом исследования (2004 г.). В содержании серы существенных изменений за исследуемый период наблюдений не выявлено.

В ноябре 2019 г. компанией "Норникель" было принято решение о закрытии плавильного производства в пгт Никель. Компания имеет планы по дальнейшему использованию промышленной площадки; среди возможных направлений рассматриваются, например, открытие нескольких небольших производств, а также развитие промышленного туризма. В этой связи необходимо дальнейшее проведение мониторинга состояния зеленых насаждений и лесных экосистем в зоне воздействия комбината "Печенганикель" для выявления ответной реакции растительного покрова на снижение техногенной нагрузки.

#### Благодарности

Исследование проводилось в рамках государственного задания (номер государственной регистрации АААА-А18-118021490070-5) и при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-60142\_Арктика).

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Библиографический список

- Алексеев А. С., Мельничук И. А., Трубачева Т. А., Пименов К. А. [и др.]. Дефолиация растительности в зоне действия промышленных выбросов горно-металлургических комбинатов (на примере ГМК "Печенганикель") // Лесное хозяйство. 2010а. № 3. С. 25–26.
- Алексеев А. С., Мельничук И. А., Трубачева Т. А., Пименов К. А. [и др.]. Проблемы озеленения п. Никель Мурманской области // Лесной вестник. 2010б. № 1. С. 41–48.
- Василевская Н. В., Сидорчук А. В. Воздействие промышленного загрязнения комбината "Печенганикель" на динамику роста *Sorbus gorodkovii* Rojark (Мурманская область) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3 (172). С. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.15393/uchz.art.2018.123>.
- Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / под ред. Б. Н. Норина, В. Т. Ярмишко. Л. : БИН, 1990. 195 с.
- Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А. [и др.]. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты : КНЦ РАН, 2010. 224 с.
- Ежов А. Ю. Техногенное загрязнение тяжелыми металлами ландшафтов северо-запада Кольского полуострова // Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Естественные науки. 2010. № 1. С. 98–103.
- Ежов А. Ю. Тяжелые металлы в растительном покрове северо-запада Кольского полуострова // Преподаватель XXI век. 2011. № 1, Ч. 2. С. 221–226.
- Исаева Л. Г., Химич Ю. Р. Оценка состояния зеленых насаждений города Мончегорска (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН. Сер. Прикладная экология Севера. 2020. Том 11. Вып. 8. С. 168–179. DOI: <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.2.8.018>.
- Карпенко А. Д. Влияние промышленных выбросов на еловые фитоценозы северной тайги Кольского полуострова : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Тарту, 1984. 19 с.
- Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки "Никель" и "Заполярный"): влияние на наземные экосистемы / под ред. О. А. Хлебосоловой. Рязань : Голос губернии, 2012. 92 с.
- Королева Н. Е., Исаева Л. Г., Боровичев Е. А. Состав, структура и состояние лесов в среднем течении р. Умба (Мурманская область) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 3(9). С. 119–129.
- Копчик Г. Н., Копчик С. В., Смирнова И. Е., Кудрявцева А. Д. [и др.]. Реакция лесных экосистем на сокращение атмосферных промышленных выбросов в Кольской Субарктике // Журнал общей биологии. 2016. Т. 77, № 2. С. 145–163.
- Кузнецова Т. Ю., Ветчинникова Л. В., Титов А. Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.17076/ecco27>.

- Лесные экосистемы и атмосферные загрязнения / под ред. В. А. Алексеева. Л. : Наука, 1990. 197 с.
- Михайлова Т. А., Калугина О. В., Шергина О. В. Мониторинг техногенного загрязнения и состояния сосновых лесов на примере Иркутской области // *Лесоведение*. 2020. № 3. С. 265–273. DOI: <https://doi.org/10.31857/s0024114820020072>.
- Мюльгаузен Д. С., Панкратова Л. А. Изменение растительного покрова в результате аэротехногенного загрязнения ГМК "Печенганикель" // Сборник науч. тр. молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей VIII молодежного экологического конгресса "Северная Пальмира". Санкт-Петербург, 22–24 ноября 2017 г. СПб. : НИЦЭБ РАН, 2017. С. 191–198.
- Мюльгаузен Д. С., Чистяков К. В., Панкратова Л. А. Техногенное нарушение ландшафтной структуры северо-запада Кольского полуострова // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2019. Т. 64. № 1. С. 44–64. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.103>.
- Святковская Е. А., Гонтарь О. Б., Тростенюк, Н. Н., Шлапак Е. П. Древесные интродуценты в озеленении городов Кольского Заполярья (на примере г. Мончегорска) // *Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры : материалы Междунар. конф., посвященной 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (19–22 июня 2012 г., Минск, Беларусь)*. В 2 ч. Ч 1. Минск, 2012. С. 471–474.
- Сухарева Т. А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях загрязнения // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2017. № 14. С. 438–441.
- Kowalska A., Astel A., Boczoń A., Polkowska Ż. Atmospheric deposition in coniferous and deciduous tree stands in Poland // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 133. P. 145–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.033>.
- Lyanguzova I. V. Dynamic trends of heavy metal contents in plants and soil under different industrial air pollution regimes // *Russian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 48, Iss. 4. С. 311–320. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1067413617040117>.
- Vassilieva N. P. Response of forest ecosystems to aerial emissions of "Pechenganikel" smelters complex // *Aerial pollution in Kola Peninsula : Proceedings of the international workshop*. April 14-16, 1992, St. Petersburg. Apatity : Kola Scientific Centre, 1993. P. 403–405.
- Zakrzewska M., Klimek B. Trace element concentrations in tree leaves and lichen collected along a metal pollution gradient near Olkusz (Southern Poland) // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018. Vol. 100, Iss. 2. P. 245–249 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2219-y>.

## References

- Alekseev, A. S., Melnichuk, I. A., Trubacheva, T. A., Pimenov, K. A. et al. 2010a. Defoliation of vegetation in the zone of industrial emissions of mining and metallurgical plants (on the example of GMC "Pechenganikel"). *Lesnoe hozyajstvo*, 3, pp. 25–26. (In Russ.)
- Alekseev, A. S., Melnichuk, I. A., Trubacheva, T. A., Pimenov, K. A. et al. 2010b. Problems of gardening in the village of Nikel of the Murmansk region. *Lesnoj vestnik*, 1, pp. 41–48. (In Russ.)
- Vasilevskaya, N. V., Sidorchuk, A. V. 2018. Impact of industrial pollution of the Pechenganikel smelter on the growth dynamics of *Sorbus gorodkovii* Pojark (Murmansk region). *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 3(172), pp. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.15393/uchz.art.2018.123>. (In Russ.)
- Influence of industrial atmospheric pollution on pine forests of the Kola Peninsula. 1990. Leningrad. (In Russ.)
- Gontar, O. B., Zhironov, V. K., Kazakov, L. A., Svyatkovskaya, E. A. et al. 2010. Green building in the Murmansk region. Apatity. (In Russ.)
- Ezhov, A. Yu. 2010. Technogenic heavy metal pollution of landscapes of the north-west of the Kola Peninsula. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*, 1, pp. 98–103. (In Russ.)
- Ezhov, A. Yu. 2011. Heavy metals in the vegetation cover of the north-west of the Kola Peninsula. *Prepodavatel XXI vek*, 1(2), pp. 221–226. (In Russ.)
- Isaeva, L. G., Khimich, Yu. R. 2020. R. Assessment of the state of forest planting in the Monchegorsk town (Murmansk region). *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Ser. Prikladnaya ekologiya Severa*, 2–8(8), pp. 168–179. DOI: <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.2.8.018> (In Russ.)
- Karpenko, A. D. 1984. Influence of industrial emissions on spruce phytocenoses of the northern taiga of the Kola Peninsula. Abstract of Ph.D. dissertation. Tartu. (In Russ.)
- Kola mining and metallurgical company (industrial sites "Nickel" and "Zapolyarny"): Influence on terrestrial ecosystems. 2012. Ryazan. (In Russ.)
- Koroleva, N. E., Isaeva, L. G., Borovichev, E. A. 2017. Composition, structure and state of forests in the middle flow of Uмба River (Murmansk province). *Transaction Kola Science Centre*, 3(9), pp. 119–129. (In Russ.)
- Koptsik, G. N., Koptsik, S. V., Smirnova, I. E., Kudryavtseva, A. D. et al. 2016. The Reaction of forest ecosystems to the reduction of atmospheric industrial emissions in the Kola Subarctic. *Biology Bulletin Reviews*, 77(2), pp. 145–163. (In Russ.)

- Kuznetsova, T. Yu., Vetchinnikova, L. V., Titov, A. F. 2015. Accumulation of heavy metals in various organs and tissues of birch depending on the growing conditions. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN*, 1, pp. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.17076/eco27>. (In Russ.)
- Forest ecosystems and atmospheric pollution. 1990. Leningrad. (In Russ.)
- Mikhailova, T. A., Kalugina, O. V., Shergina, O. V. 2020. Monitoring of technogenic pollution and the state of pine forests on the example of the Irkutsk region. *Lesovedenie*, 3, pp. 265–273. DOI: <https://doi.org/10.31857/s0024114820020072>. (In Russ.)
- Mulhausen, D. S., Pankratova, L. A. 2017. Change of vegetation as a result of airborne contamination of the Pechenganikel MMC. Coll. of scientific papers of VIII Youth Ecological Congress "Northern Palmyra", 22–24 November, 2017. St. Petersburg, pp. 191–198. (In Russ.)
- Mulhausen, D. S., Chistyakov, K. V., Pankratova, L. A. 2019. Technogenic disturbance of the landscape structure of the north-west of the Kola Peninsula. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, 64(1), pp. 44–64. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.103>. (In Russ.)
- Svyatkovskaya, E. A., Gontar, O. B., Trostenyuk, N. N., Shlapak, E. P. 2012. Arboreal introducents in the greening of cities of the Kola Arctic (on the example of Monchegorsk). In *Introduction, conservation and use of biological diversity of the world flora*, June 19–22, 2012, Minsk, pp. 471–474. (In Russ.)
- Sukhareva, T. A. 2017. Features of accumulation of chemical elements by woody plants of northern taiga forests in the background and technogenically disturbed territories of pollution. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN*, 14, pp. 438–441. (In Russ.)
- Kowalska, A., Astel, A., Boczoń, A., Polkowska, Ż. 2016. Atmospheric deposition in coniferous and deciduous tree stands in Poland. *Atmospheric Environment*, 133, pp. 145–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.033>.
- Lyanguzova, I. V. 2017. Dynamic trends of heavy metal contents in plants and soil under different industrial air pollution regimes. *Russian Journal of Ecology*, 48(4), pp. 311–320. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1067413617040117>.
- Vassilieva, N. P. 1993. Response of forest ecosystems to aerial emissions of "Pechenganikel" smelters complex. Proceedings of the international workshop *Aerial pollution in Kola Peninsula*, 14–16 April, 1992, St. Petersburg. Apatity, pp. 403–405.
- Zakrzewska, M., Klimek, B. 2018. Trace element concentrations in tree leaves and lichen collected along a metal pollution gradient near Olkusz (Southern Poland). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(2), pp. 245–249 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2219-y>.

#### Сведения об авторах

**Исаева Людмила Георгиевна** – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. с.-х. наук, доцент, вед. науч. сотрудник; e-mail: [l.isaeva@ksc.ru](mailto:l.isaeva@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

**Ludmila G. Isaeva** – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher; e-mail: [l.isaeva@ksc.ru](mailto:l.isaeva@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

**Сухарева Татьяна Алексеевна** – Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: [s.tat.a@mail.ru](mailto:s.tat.a@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>

**Tatyana A. Sukhareva** – 14a Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher; e-mail: [s.tat.a@mail.ru](mailto:s.tat.a@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>