

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ВАСИЛЕВСКАЯ

доктор биологических наук, профессор кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)
n.v.vasilevskaya@gmail.com

АНТОН ВИКТОРОВИЧ СИДОРЧУК

студент магистратуры кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)
a.v.sidorchuk@gmail.com

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМБИНАТА
«ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ» НА ДИНАМИКУ РОСТА *SORBUS GORODKOVII* POJARK
(Мурманская область)**

Рассматриваются вопросы воздействия промышленного загрязнения медно-никелевого комбината «Печенганикель», расположенного в арктической зоне РФ, на динамику ростовых процессов рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii* Pojark) – эндемичного вида Фенноскандии. Показатели динамики роста листьев и годичных побегов *S. gorodkovii* в импактной зоне обогатительной фабрики г. Заполярный свидетельствуют о том, что ценопопуляции рябины адаптированы к хроническому загрязнению среды тяжелыми металлами. Ингибирование ростовых процессов листьев происходит в начале их вегетации. Впервые показано, что рябина Городкова устойчива к высоким концентрациям тяжелых металлов. В условиях урбанизированной территории г. Заполярный ингибирование роста снижается. Ключевые слова: *Sorbus gorodkovii* Pojark, рост, промышленное загрязнение, тяжелые металлы, Арктика

Одной из базовых характеристик, перспективных для оценки стрессовых воздействий окружающей среды на растения, является динамика ростовых процессов¹. Изучению роста и развития видов разных жизненных форм в зоне промышленного воздействия медно-никелевых комбинатов на территории Мурманской области посвящено много научных публикаций [5], [10], [29], [30], [31], [37]. Активно развиваются исследования генетической структуры и изменчивости популяций растений импактных районов. Это связано с тем, что в процессе заселения загрязненных территорий и приспособления к их условиям происходит изменение уровня генетического разнообразия и структуры популяций [28]. Особую актуальность имеет направление по изучению металлоустойчивости растений промышленных зон [8]. У ряда видов из загрязненных местообитаний выявлена более высокая резистентность к тяжелым металлам по сравнению с фоновыми условиями [26], [27], [32]. Такие данные получены в экспериментах с саженцами *Betula czerepanovii* (береза Черепанова) [26], [27], выращенными из семян деревьев, произрастающих в импактных районах Кольского полуострова. Исследователи считают, что более 70 лет загрязнения среды медно-никелевыми комбинатами в Мончегорске и Никеле привели к адаптации популяций березы к стрессовому воздействию тяжелых метал-

лов. Это один из немногих примеров адаптации древесных растений к антропогенному стрессу [26], [27]. Было высказано предположение, что выживаемость долгоживущих видов в сильно загрязненных средах объясняется, скорее, фенотипической пластичностью, а не эволюцией резистентности [26]. Однако есть некоторые примеры видов деревьев, толерантных к антропогенному загрязнению, особенно в родах *Betula* L. и *Salix* L. Ряд авторов отмечают высокую металлоустойчивость *Sorbus aucuparia* [25]. Выявлено, что *Sorbus gorodkovii* является наиболее устойчивым видом в зеленых насаждениях п. Никель [1].

Мурманская область – один из центров цветной металлургии на Северо-Западе России. Комбинаты «Печенганикель» и «Североникель» ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» являются крупнейшими источниками техногенного загрязнения в Евро-Арктическом регионе. На долю этих предприятий приходится от 70 до 90 % ежегодных выбросов сернистого газа и практически 100 % никеля и меди на территории Мурманской области. В результате длительного воздействия аэротехногенных выбросов в импактных зонах этих предприятий образовались депрессивные территории, характеризующиеся высокой кислотностью и экстремальным содержанием Cu и Ni в почве и водоемах [19]. В 2016 году выбросы загрязняющих веществ

в атмосферу российскими предприятиями компании «Норникель» составили 1,94 млн т, в том числе диоксида серы 1,88 млн т, твердых веществ 0,01 млн т².

Комбинат «Печенганикель» расположен на северо-западе Мурманской области (Печенгский район), в лесотундровой зоне. Медно-никелевый комбинат (работа которого в настоящее время приостановлена) находится в п. Никель (69° 25' с. ш., 30° 15' в. д.), обогатительная фабрика – в г. Заполярный (69° 25' с. ш., 30° 48' в. д.), зоны их техногенного воздействия существенно перекрываются [31]. Основными загрязняющими веществами при переработке сырья являются диоксид серы и пыль, содержащая тяжелые металлы (Ni, Cu, Co). В результате зонирования наземных экосистем в сфере техногенного воздействия комбината «Печенганикель» по состоянию почвенного покрова выделено три зоны, различающиеся по интенсивности загрязнения почв. I зона – сильное загрязнение – до 3,0 км от источника выбросов, II зона – среднее загрязнение – до 16 км, III зона – слабое загрязнение – до 25–30 км в юго-западном направлении [9]. Г. Н. Кошик [12] показано, что в 1998 году содержание Ni и Cu в непосредственной близости к комбинату «Печенганикель» составило 2 000–2 600 мг/кг, концентрации тяжелых металлов в почве токсичны для растений на расстоянии до 25–35 км. В настоящее время эти показатели практически не изменились [9]. По данным мониторинга за 2016 год, в Печенгском районе выявлен максимальный суммарный показатель загрязнения почв населенных мест (К почва = 6,6), характеризующий загрязнение почвы тяжелыми металлами. Здесь отмечены самые высокие по Мурманской области концентрации в почве ионов никеля и меди³.

В данной работе в качестве объекта исследования в зоне промышленного загрязнения тяжелыми металлами впервые использован эндемичный вид Фенноскандии – *Sorbus gorodkovii* Pojark (рябина Городкова). Исследования по особенностям морфологии, роста и развития *S. gorodkovii* единичны [3], [4], [15], [16], [17]. Л. И. Сальникова [16], [17] приводит сравнительную характеристику морфологических и анатомических особенностей строения листа и побега *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica*. В Мурманской области изучена динамика роста побегов и листьев, особенности мезоструктуры листа *S. gorodkovii* в г. Мурманск [3], [4], фертильность и полиморфизм пыльцы в г. Североморске [15].

Цель исследования – изучение воздействия промышленного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на динамику роста побегов и листьев рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii* Pojark) в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный ОАО «Кольская горно-металлургическая компания».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в ценопопуляциях *Sorbus gorodkovii* Pojark (рябина Городкова), европейского гипоаркто-монтанного вида, являющегося одним из немногих представителей рода *Sorbus* L., который встречается в приполярных широтах. Рябина Городкова – эндемик Фенноскандии, занесена в Красную книгу Восточной Фенноскандии [34] и Красную книгу Мурманской области [13]. В естественных условиях встречается в тундровой и лесной зонах, горно-лесном и горно-тундровом поясах Фенноскандии. На территории России произрастает в заболоченных лесах и долинах тундровых рек Кольского полуострова [20]. Зимостойкий и быстрорастущий вид, повсеместно распространен в городских насаждениях Мурманской области [6]. Впервые в озеленительный ассортимент *Sorbus gorodkovii* была включена в 1941 году, когда для озеленения городов Крайнего Севера в основном были рекомендованы аборигенные виды как наиболее устойчивые к экстремальному климату.

В литературных источниках указывается различное число видов рода *Sorbus* L. в мировой флоре, систематика постоянно меняется в зависимости от того, как рассматриваются многочисленные полиплоидные апомикты [35]. Для исследования генетики популяций различных видов *Sorbus* L. в последние годы используются новые молекулярные маркеры [33]. Дискуссионным является вопрос о том, можно ли выделять *S. gorodkovii* в качестве отдельного вида [11], [16], [17], [22]. Есть несколько точек зрения: *S. gorodkovii* рассматривают как региональную расу *S. aucuparia* [22], как отдельный вид [16], [17], как гибрид *S. aucuparia* и *S. sibirica* [11], подвид *S. sibirica* Held. или *S. aucuparia* L. (*S. grabrata* Held) [22]. В данном исследовании мы придерживаемся точки зрения, что *S. gorodkovii* Pojark является самостоятельным видом.

В мае 2017 года в окрестностях обогатительной фабрики ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» (г. Заполярный) заложено пять экспериментальных площадок, на которых произрастает рябина Городкова. Все ценопопуляции *S. gorodkovii* находятся в зоне полиметаллического загрязнения почв [9]. Две из них расположены на территории г. Заполярный: ПП₁ – детская спортивная площадка в центре города (1,64 км от обогатительной фабрики), ПП₂ – на выезде из города, рядом с автотрассой (1,8 км от фабрики). Вне города находятся экспериментальные площадки: ПП₃ – окрестности Хлебозавода (0,76 км от фабрики), ПП₄ – лесной массив, рядом с автотрассой (6,6 км от фабрики), ПП₅ – непосредственно на территории предприятия, в сквере около автотранспортного цеха (рисунок). Контрольная площадка расположена в экологически чистой зоне, в окрестностях поселка Верхнетуломский, на расстоянии 98 км от г. Заполярный. На каждой экспериментальной площадке маркировалось по 10 деревьев рябины.

Измерения параметров листьев и длины годичных приростов проводились в динамике, в течение июня и июля 2017 года. Замеры листьев (длины листа и совокупной длины двух

срединных листочков сложного листа) проводили каждые 7 суток. Объем выборки с каждой площадки по всем измеряемым показателям $N = 50$.

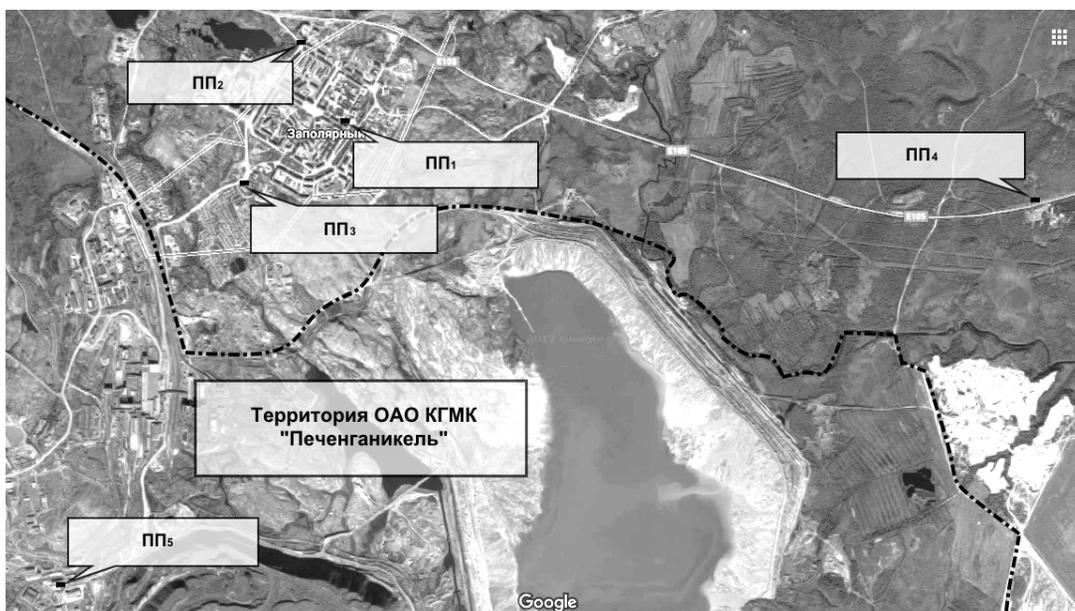


Схема расположения пробных площадок в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный: ПП₁ – детская спортивная площадка в г. Заполярный, ПП₂ – на выезде из г. Заполярный, ПП₃ – окрестности Хлебозавода, ПП₄ – лесной массив, ПП₅ – территория обогатительной фабрики

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения динамики роста листьев *S. gorodkovii* получено, что промыш-

ленное загрязнение оказывает ингибирующее воздействие на апикальный рост листьев (табл. 1).

Таблица 1

Динамика длины листьев *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия обогатительной фабрики (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП ₁	ПП ₂	ПП ₃	ПП ₄	ПП ₅
08.06	50,7 ± 1,6	14,5 ± 0,6	20,7 ± 0,9	18,4 ± 0,9	11,9 ± 0,7	15,7 ± 0,5
15.06	87,5 ± 2,9	43,6 ± 1,3	42,4 ± 1,1	46,3 ± 1,8	46,9 ± 1,5	43,1 ± 1,0
22.06	106,7 ± 3,1	71,1 ± 2,1	72,5 ± 2,1	69,6 ± 3,0	61,8 ± 2,7	63,4 ± 2,1
29.06	150,6 ± 3,9	100,2 ± 2,7	105 ± 3,3	93,8 ± 3,4	89,5 ± 2,5	94,5 ± 2,7
06.07	192 ± 4,2	156,4 ± 5,5	166 ± 3,7	154,5 ± 3,8	122,9 ± 3,6	133,9 ± 3,0
13.07	200 ± 4,9	183,4 ± 5,5	187,7 ± 4,1	165,4 ± 3,5	152,4 ± 3,0	154,9 ± 2,8
20.07	206 ± 4,7	183,8 ± 4,8	191,9 ± 3,6	172,3 ± 4,1	152,7 ± 3,3	155 ± 2,7

Особенно этот эффект выражен на ранних этапах онтогенеза вегетативных органов рябины. В начале роста листьев (8.06) их длина на экспериментальных площадках ПП₂ и ПП₃ на 60 %, ПП₁ и ПП₅ на 70 %, ПП₄ на 77 % меньше контрольных значений (см. табл. 1), к середине июня (15.06) ингибирование роста во всех ценопопуляциях *S. gorodkovii* снижается до отставания от контроля на 50 %. Во второй половине июня апикальный рост усиливается, длина листьев на пробных

площадках г. Заполярный (ПП₁, ПП₂) меньше, чем в контроле на 30 %, в окрестностях обогатительной фабрики (ПП₃, ПП₄, ПП₅) – на 40 %. Особый интерес представляет тот факт, что если с середины июля этот показатель в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярный приближается к контрольным значениям, то на площадках ПП₃, ПП₄, ПП₅ ингибирование более пролонгированно, апикальный рост листьев отстает от контроля на 16–26 %.

Аналогичные тенденции прослеживаются в динамике роста листьев *S. gorodkovii* по показателю «длина срединных листочков сложного листа» (табл. 2). Получено, что в середине июня (15.06), сразу после разворачивания листьев, длина срединных листочков на экспериментальных площадках ПП₃, ПП₄ на 50 %, на ПП₁, ПП₂, ПП₅ на

65 % меньше, чем в контроле. Во второй половине июня эти различия резко снижаются и составляют от 20 до 36 % по площадкам. К 20 июля длина срединных листочков в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярный меньше контрольных значений только на 2–10 %, в то время как на ПП₃, ПП₄, ПП₅ на 16–20 %.

Таблица 2

Динамика длины листочков сложного листа *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия обогатительной фабрики (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП ₁	ПП ₂	ПП ₃	ПП ₄	ПП ₅
08.06	36,5 ± 1,7	–	–	–	–	–
15.06	57,6 ± 1,8	20,4 ± 1,5	20,5 ± 1,2	29 ± 1,7	30 ± 1,3	21,6 ± 1,1
22.06	67,4 ± 1,6	50,4 ± 1,7	53,6 ± 1,6	47,5 ± 2,2	43,1 ± 1,8	44,7 ± 1,6
29.06	88,3 ± 2,6	64 ± 1,7	71,4 ± 1,9	60,1 ± 1,7	58,4 ± 1,4	63,5 ± 1,6
06.07	104,8 ± 2,9	88 ± 2,7	94,5 ± 2,1	80,5 ± 2,6	73 ± 2,1	81 ± 1,8
13.07	115,5 ± 2,4	102,2 ± 2,8	109,3 ± 2,3	92,6 ± 2,6	91,6 ± 1,6	93,7 ± 1,5
20.07	117,2 ± 2,6	105,6 ± 3,3	115,1 ± 1,9	98 ± 2,2	93,5 ± 1,7	95,5 ± 1,5

Известно, что уменьшение длины, ширины и площади листовых пластинок, а также снижение динамики роста побегов вызывают высокие концентрации тяжелых металлов в окружающей среде [2], [5], [26]. Такие данные получены при исследовании динамики роста листьев в ценопопуляциях *Betula czerepanovii*, расположенных по градиенту промышленного загрязнения медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск) [5]. Рассчитаны значимые коэф-

фициенты корреляции между размерами листьев *B. czerepanovii* и концентрацией ионов меди и никеля в почве, при этом получено, что чем выше концентрация тяжелых металлов, тем меньше размеры листьев [5].

Исследование динамики годичных приростов *S. gorodkovii* в окрестностях обогатительной фабрики (г. Заполярный) показало, что промышленное загрязнение вызывает ингибирование их роста (табл. 3).

Таблица 3

Динамика длины годичных приростов *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия комбината «Печенганикель» (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП ₁	ПП ₂	ПП ₃	ПП ₄	ПП ₅
29.06	127 ± 6,7	82,1 ± 4,3	54,8 ± 3,23	61,6 ± 4,2	49,6 ± 3,5	50,3 ± 4,2
13.07	287,4 ± 15,7	240,7 ± 13,9	190,1 ± 8,4	170,5 ± 12,1	174,3 ± 12,5	169,2 ± 13,7
20.07	305,6 ± 16,4	249,8 ± 16,0	238,7 ± 12,3	204 ± 14,9	185,6 ± 15,2	169,6 ± 9,0

В конце июня длина годичных побегов *S. gorodkovii* на экспериментальных площадках ПП₂, ПП₄, ПП₅ меньше контрольных значений на 60 %, на ПП₃ – 50 %. Исключение составляет площадка ПП₁, находящаяся в центре г. Заполярный, где приросты отстают от контроля только на 35 %. К середине июля рост побегов становится более интенсивным, однако ингибирование роста отмечается во всех исследуемых ценопопуляциях рябины. Особенно оно сильно выражено на пробных площадках ПП₃, ПП₄, ПП₅, где приросты меньше контрольных значений на 40 %, в г. Заполярный (ПП₁, ПП₂) значения этого показателя меньше контрольных значений на

16–34 %. До конца июля эта тенденция сохраняется. Следует отметить, что данные по динамике роста побегов и листьев *S. gorodkovii* значительно отличаются. Рост годичных побегов под воздействием промышленного загрязнения среды тяжелыми металлами ингибируется более значительно. Аналогичные данные получены в условиях урбанизированной территории при исследовании ценопопуляций *S. gorodkovii* в г. Мурманске [3].

Основным источником поступления тяжелых металлов в растения является аэрозольное осаждение их из воздуха на поверхность листовой пластинки [21]. При этом высокие концентрации металлов вызывают ксерофитизацию и задержку

роста листьев [2], в то время как низкие приводят к увеличению их размеров, что связано с растяжением клеток и увеличением межклеточных пространств. Такие данные приводятся В. К. Жировым с соавторами [10], которые получили, что в экотопах со средним уровнем загрязнения в окрестностях медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск) наблюдается увеличение листьев берез. При возрастании степени загрязнения тяжелыми металлами размеры листьев значительно уменьшаются и начинают преобладать процессы ксерофитизации. Среди тяжелых металлов особенно высокую токсичность и большую скорость поступления в надземные органы имеет никель, оказывая сильное влияние на рост и развитие растений [18]. Избыток ионов Ni в среде приводит к множественным токсическим эффектам, таким как ингибирование фотосинтеза, снижение транспирации и уровня минерального питания растений с последующим нарушением роста и морфогенеза [36]. Замедление роста листьев *S. gorodkovii* в начале их онтогенеза в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный может быть вызвано токсичным воздействием ионов никеля, которые подавляют дифференциацию клеток меристем в первые 10 дней развития листа, то есть в период формирования листовой пластинки [18].

Медь является активатором отдельных ферментов и ферментных систем, связанных с окислительно-восстановительными реакциями клетки. В экспериментах А. А. Кулагина, Ю. Н. Шагиевой [14] установлено, что ионы меди приводят к задержке распускания первых листьев древесных растений, при этом продолжительность роста и средняя площадь листьев в эксперименте значительно ниже по сравнению с контрольными образцами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замедление роста обычно рассматривается как одна из наиболее общих и известных реакций растений на промышленное загрязнение, включая диоксид серы и тяжелые металлы [31]. Во многих монографиях и научных обзорах не описывается различий в ростовых реакциях на промышленное загрязнение между травянистыми и древесными растениями [23], [31]. При этом длительное время традиционно считалось, что короткоживущие травянистые виды развиваются и адаптируются к этим изменениям, тогда как деревья из-за их долгого генеративного периода – нет [27].

Показатели динамики роста листьев и годичных побегов *S. gorodkovii* в импактной зоне медно-никелевого комбината «Печенганикель»

свидетельствуют о том, что ценопопуляции рябины Городкова адаптированы к хроническому загрязнению среды тяжелыми металлами. Полученные данные, на наш взгляд, подтверждают результаты норвежских и финских исследователей [26], [27], которые считают, что в условиях субарктического климата и промышленного загрязнения на Кольском полуострове происходят быстрая адаптация и эволюция резистентности деревьев к антропогенному стрессу.

Исследования показали, что, несмотря на значительное ингибирование роста листьев на ранних этапах развития и замедление роста побегов, *S. gorodkovii* является металлоустойчивым видом. Есть данные о том, что листья *S. aucuparia* аккумулируют в значительных количествах ионы меди, в меньших – ионы никеля [7]. По данным польских исследователей, *S. aucuparia* проявляет наибольшую устойчивость к воздействию поллютантов в условиях урбанизированных территорий по сравнению с другими видами деревьев [24]. В ходе исследований динамики роста листьев *S. gorodkovii* на территории г. Мурманска, где уровень загрязнения среды тяжелыми металлами значительно ниже, чем в окрестностях медно-никелевых производств, не выявлено ингибирования роста листьев на ранних этапах развития [3].

Полученные различия между ценопопуляциями *S. gorodkovii* в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный, на наш взгляд, свидетельствуют также о том, что, помимо высоких концентраций тяжелых металлов, значимое влияние на рост деревьев оказывают и другие абиотические и биотические факторы. До сих пор экологические аспекты адаптации металлоустойчивых видов, например, характер влияния различных факторов среды, кроме высокого содержания тяжелых металлов в почве, мало изучены [8]. Известно, что большинство видов рода *Sorbus* являются гелиофитами и требуют высоких уровней освещенности, поэтому они предпочитают открытые местообитания [33]. Более высокие показатели роста в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярного могут быть связаны с отсутствием конкуренции, оптимальным для данного вида уровнем освещенности, а также с особенностями застройки города, его рельефом. Резко убывающие уровни содержания поллютантов отмечены в п. Никель на местах проб, расположенных в ветровой тени [1]. Для изучения механизмов адаптации *S. gorodkovii*, как металлоустойчивого вида, к комплексу абиотических и биотических факторов среды промышленной субарктической территории необходимы дополнительные эксперименты.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. М., 2008. 287 с.

² Годовой отчет ПАО ГМК «Норильский никель» за 2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.nornik.ru (дата обращения 12.12.2017).

³ Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году. Мурманск, 2017. 180 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. С., Мельничук И. А., Трубачева Т. А., Пименов К. А., Крюковский А. С. Проблемы озеленения п. Никель Мурманской области // Лесной вестник. 2010. № 1. С. 41–48.
2. Башкот Е. Н., Дорогобидова А. С. Хлорофилльный фотосинтетический потенциал посева как биоиндикатор экологического мониторинга // Современные аспекты экологии и экологического образования: Материалы Всерос. конф. Казань, 2005. С. 402–404.
3. Василевская Н. В., Лебедев И. Е. Воздействие техногенного загрязнения г. Мурманска на рост и развитие *Sorbus gorodkovii* Pojark // Естественные и технические науки. 2016. № 4 (94). С. 23–28.
4. Василевская Н. В., Лебедев И. Е. Особенности мезоструктуры листа *Sorbus gorodkovii* Pojark в урбанизированной среде // Естественные и технические науки. 2015. № 11 (89). С. 143–147.
5. Василевская Н. В., Лукина Ю. М. Влияние техногенного загрязнения на динамику роста и мезоструктуру листа *Betula czerepanovii* Orlova (Мурманская область) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки. 2011. № 8 (121). С. 7–11.
6. Василевская Н. В., Макарова Ю. С. Флора зеленых насаждений исторического центра г. Мурманска // Ученые записки МГПУ. Серия: Биол. науки. 2006. Вып. 2. С. 11–17.
7. Ветчинникова Л. В., Кузнецова Т. Ю., Титов А. Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
8. Дуля О. В. Эколого-генетические механизмы устойчивости травянистых растений к промышленному загрязнению Екатеринбурга: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2015. 212 с.
9. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Самовосстановление почв в зонах воздействия промышленных предприятий Мурманской области при снижении техногенной нагрузки // Экологические проблемы северных территорий и пути их решения: Материалы 5-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты, 2014. С. 119–122.
10. Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф., Хайтбаев А. Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М.: Наука, 2007. 166 с.
11. Заиконникова Т. И. Рябина – *Sorbus L.* // Флора Восточной Европы. Т. X. СПб., 2001. С. 535–543.
12. Кощик Г. Н., Недбаев Н. П., Копчик С. В., Павлюк И. Н. Загрязнение почв лесных экосистем тяжелыми металлами под влиянием атмосферных выбросов комбината «Печенганикель» // Почвоведение. 1998. № 8. С. 988–995.
13. Красная книга Мурманской области. Мурманск, 2003. 400 с.
14. Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 173 с.
15. Подола Е. С., Василевская Н. В. Репродуктивная биология *Sorbus gorodkovii* Pojark в условиях арктического города (на примере популяции г. Североморска) // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием: В 3 ч. Ч. 1. Апатиты, 2014. С. 28–31.
16. Сальникова Л. И. Сравнительная анатомия побегов *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica* (Rosaceae) // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 11. С. 1591–1600.
17. Сальникова Л. И. Морфология и анатомия листа *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica* (Rosaceae) // Ботанический журнал. 1982. Т. 67. № 9. С. 1264–1271.
18. Серегин И. В., Кожевникова А. Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. Т. 53. С. 285–308.
19. Слуковская М. В., Новичонок Е. В., Кременецкая И. П., Мосендз И. А., Дрогобужская С. В., Марковская Е. Ф. Применение *Festuca rubra* L. в фиторемедиации: комплексная оценка влияния техногенного грунта на растение // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 4 (165). С. 70–80.
20. Флора Мурманской области. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. Вып. 4. 200 с.
21. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
22. Шауло Д. Н., Драчев Н. С., Кузьмин И. В. Интрогрессивная гибридизация в роде *Sorbus* (Rosaceae) таежной зоны Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 209–215.
23. Air pollution and plant life / Eds. J. N. B. Bell, M. Treshow. Chichester: Wiley, 2002. 467 p.
24. Chwil S., Kozłowska-Strawska J., Tkaczyk P., Chwil P., Matraszek R. Assessment of air pollutants in an urban agglomeration in Poland made by the biomonitoring of trees // J. of Elementology. 2015. Vol. 20 (4). P. 813–826.
25. Davics A. A., Perkins W. F., Browell R. Geochemical assessment of mine waste cover performance post reclamation at Parkmine, Worth Wales // Geochemistry exploration environment analysis. 2016. Vol. 16. No 2. P. 127.
26. Eranen J. K. Rapid evolution towards heavy metal resistance by mountain birch around two subarctic copper – nickel smelters // J. Evol. Biol. 2008. Vol. 21. P. 492–501.
27. Eranen J. K., Nilsen J., Zverev V. E., Kozlov M. V. Mountain birch under multiple stressors – heavy metal-resistant populations co-resistant to biotic stress but maladapted to abiotic stress // J. Evol. Biology. 2009. Vol. 22. P. 840–851.
28. Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // For. Snow. Landsc. Res. 2006. Vol. 80. No 3. P. 251–274.
29. Kozlov M. V. Pollution resistance of mountain birch, *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii*, near the copper – nickel smelter: natural selection or phenotypic acclimation? // Chemosphere. 2005. Vol. 59. P. 189–197.
30. Kozlov M. V. Sources of variation in concentrations of nickel and copper in mountain birch foliage near a nickel – copper smelter at Monchegorsk, north-western Russia: results of long – term monitoring // Environmental pollution. 2005. Vol. 135. P. 91–99.
31. Kozlov M. V., Zvereva E. L. Does impact of point polluters affect growth and reproduction of herbaceous plants // Water Air Soil Pollution. 2007. Vol. 186. P. 183–194.
32. Mengoni A. et al. Evolution of copper tolerance and increased expression of a *h* – type – metallothionein gene in *Silene paradoxa* L. populations // Plant and Soil. 2003. Vol. 254. No 2. P. 451–457.
33. Pellicer J., Clermont S., Houston L., Rich T. C., Fay M. F. Cytotype diversity in the *Sorbus* complex (Rosaceae) in Britain: sorting out the puzzle // Annals of Botany. 2012. Vol. 110. P. 1185–1193.
34. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. 351 p.
35. Rich T. C., Proctor M. C. Some new British and Irish *Sorbus* L. taxa (Rosaceae) // Watsonia. 2009. Vol. 27. P. 207–216.

36. Stetsenko L. A., Kozhevnikova A. P., Kartashov A. V. Salinity attenuates nickel-accumulating capacity of *Atropa belladonna* plants // Russian J. of Plant Physiology. 2017. Vol. 64. No 4. P. 486–496.
37. Zverev V. E., Zvereva E. L., Kozlov M. V. Slow growth of *Empetrum nigrum* in industrial barrens: Combined effect of pollution and age of extant plants // Environmental Pollution. 2008. Vol. XX. P. 1–7.

Vasilevskaya N. V., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)

Sidorchuk A. V., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)

THE IMPACT OF INDUSTRIAL POLLUTION OF PECHENGANIKEL PLANT ON THE DYNAMICS OF *SORBUS GORODKOVII* POJARK GROWTH (MURMANSK REGION)

The article deals with the problem of industrial pollution impact of “Pechenganickel” copper-nickel plant, located in the Arctic zone of the Russian Federation, on the growth dynamics of *Sorbus gorodkovii* Pojark (rowan Gorodkova) – an endemic species of Fennoscandia. Parameters of the growth dynamics of leaves and annual shoots of *S. gorodkovii* in the impact zone of Zapolyarny show that rowan cenopopulations have adapted to chronic pollution of the environment with heavy metals. The inhibition of growth processes in the leaves occurs at the beginning of their vegetation. For the first time it was shown that *S. gorodkovii* is resistant to high concentrations of heavy metals. In the urbanized area of Zapolyarny the inhibition of growth is reduced.

Key words: *Sorbus gorodkovii* Pojark, growth, industrial pollution, heavy metals, Arctic

REFERENCES

1. Alekseev A. V., Melnichuk I. A., Trubacheva I. A., Pimenov K. A., Kryukovskiy A. S. Problems of planting of greenery in the Village of Nikel, Murmansk Region. *Forestry Bulletin*. 2010. No 1. P. 41–48. (In Russ.)
2. Bakshot E. N., Dorogobilova A. S. Chlorophyll Photosynthetic Seeding Potential as a Bio-indicator of Environmental Monitoring. *Modern Aspects of Ecology and Environmental Education: Proc. All – Russian science conf.* Kazan, 2005. P. 402–404. (In Russ.)
3. Vasilevskaya N. V., Lebedevich I. E. The Impact of Technogenic Pollution of Murmansk on the Growth and Development of *Sorbus gorodkovii* Pojark. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2016. No 4 (94). P. 23–28. (In Russ.)
4. Vasilevskaya N. V., Lebedevich I. E. Features of the Mesostructure of the *Sorbus gorodkovii* Pojark Sheet in an Urbanized Environment. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2015. No 11 (89). C. 143–147. (In Russ.)
5. Vasilevskaya N. V., Lukina Yu. M. Influence of Technogenic Pollution on the Dynamics of Growth and Mesostructure of the Leaves of *Betula czerepanovii* Orlova (Murmansk region). *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences*. 2011. No 8 (121). P. 7–11. (In Russ.)
6. Vasilevskaya N. V., Makarova Yu. S. Flora of Green Plantations of the Historical Center of Murmansk. *Uchenye zapiski MGPU. Ser. Biologicheskie nauki*. 2006. Issue 2. P. 11–17. (In Russ.)
7. Vetchinnikova L. V., Kuznetsova T. Yu., Titov A. F. Features of Heavy Metals' Accumulation in the Leaves of Woody Plants in Urbanized Areas of the North. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*. 2013. No 3. P. 68–73. (In Russ.)
8. Dulya O. V. Ecological and Genetic Mechanisms of Herbaceous Plants Resistance to Industrial Pollution in Ekaterinburg: Diss. Cand. Sci. (Biol.) Ekaterinburg, 2015. 212 p. (In Russ.)
9. Evdokimova G. A., Mozgova N. P. Self Regeneration of Soils in the Impact Zones of Industrial Enterprises in the Murmansk R while Reducing the Technogenic Load. *Ecological Problems of Northern Territories and Ways of their Solution: Proc. 5th All – Russian science conf.* Apatity, 2014. P. 119–122. (In Russ.)
10. Zhironov V. K., Golubeva E. I., Govorova A. F., Haitbaev A. H. Structural and functional changes in vegetation in conditions of technogenic pollution in the Far North. Moscow, 2007. 166 p. (In Russ.)
11. Zaikonnikova T. I. Rowan – *Sorbus* L. *Flora Vostochnoy Evropy*. Vol. X. St. Petersburg, 2001. P. 535–543. (In Russ.)
12. Koshik G. N., Nedbaev N. P., Koshik S. V., Pavlyuk I. N. Soil Pollution of Forest Ecosystems by Heavy Metals under the Influence of Atmospheric Emissions of “Pechenganickel”. *Eurasian Soil Science*. 1998. No 8. P. 988–995. (In Russ.)
13. The Red Data Book of the Murmansk region. Murmansk, 2003. 400 p. (In Russ.)
14. Kulagin A. A., Shagieva Yu. A. Woody plants and biological conservation of industrial pollutants. Moscow, 2005. 173 p. (In Russ.)
15. Podola E. S., Vasilevskaya N. V. Reproductive Biology of *Sorbus gorodkovii* Pojark in the Conditions of the Arctic City (on the Example of the Population of Severomorsk). *Ecological Problems of Northern Territories and Ways of their Solution: Proc. 5th All – Russian science conf.* Apatity, 2014. Part 1. P. 28–31. (In Russ.)
16. Salnikova L. I. Comparative Anatomy of Shoots of *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* and *S. sibirica* (Rosaceae). *Botanicheskiy zhurnal*. 1980. Vol. 65. No 11. P. 1591–1600. (In Russ.)
17. Salnikova L. I. Morphology and Anatomy of the Leaves of *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* i *S. sibirica* (Rosaceae). *Botanicheskiy zhurnal*. 1982. Vol. 67. No 9. P. 1264–1271. (In Russ.)
18. Seregin I. V., Kozhevnikova A. D. The Physiological Role of Nickel and its Toxic Effect on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2006. Vol. 53. P. 285–308. (In Russ.)
19. Slukovskaya M. V., Novichenok E. V., Kremenetskaya I. P., Mosends I. A., Drogo-buzhskaya S. V., Markovskaya E. F. Application of *Festuca rubra* L. in Phytomeration: a Comprehensive Assessment of the Impact of Technogenic Soil on the Plant. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. № 4 (165). P. 70–80. (In Russ.)
20. Flora of the Murmansk region. Moscow, Leningrad, 1959. Issue 4. 200 p. (In Russ.)

21. Chernenkova T. V. The reaction of forest vegetation to industrial pollution. Moscow, 2002. 191 p. (In Russ.)
22. Shaulo D. H., Drachev N. S., Kuzmin I. V. Introgressive Hybridization in the Genus *Sorbus* (*Rosaceae*) of the Taiga Zone of the Tyumen Region. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. № 3. P. 209–215 (In Russ.)
23. Air pollution and plant life / Eds. J. N. B. Bell, M. Treshow. Chichester: Wiley, 2002. 467 p.
24. Chwil S., Kozłowska-Strawska J., Tkaczyk P., Chwil P., Matraszek R. Assessment of air pollutants in an urban agglomeration in Poland made by the biomonitoring of trees // *J. of Elementology*. 2015. Vol. 20 (4). P. 813–826.
25. Davics A. A., Perkins W. F., Browell R. Geochemical assessment of mine waste cover performance post reclamation at Parkmine, Worth Wales // *Geochemistry exploration environment analysis*. 2016. Vol. 16. No 2. P. 127.
26. Eranen J. K. Rapid evolution towards heavy metal resistance by mountain birch around two subarctic copper – nickel smelters // *J. Evol. Biol.* 2008. Vol. 21. P. 492–501.
27. Eranen J. K., Nilssen J., Zverev V. E., Kozlov M. V. Mountain birch under multiple stressors – heavy metal-resistant populations co-resistant to biotic stress but maladapted to abiotic stress // *J. Evol. Biology*. 2009. Vol. 22. P. 840–851.
28. Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // *For. Snow. Landsc. Res.* 2006. Vol. 80. No 3. P. 251–274.
29. Kozlov M. V. Pollution resistance of mountain birch, *Betula pubescens subsp. czerepanovii*, near the copper – nickel smelter: natural selection or phenotypic acclimation? // *Chemosphere*. 2005. Vol. 59. P. 189–197.
30. Kozlov M. V. Sources of variation in concentrations of nickel and copper in mountain birch foliage near a nickel – copper smelter at Monchegorsk, north-western Russia: results of long – term monitoring // *Environmental pollution*. 2005. Vol. 135. P. 91–99.
31. Kozlov M. V., Zvereva E. L. Does impact of point polluters affect growth and reproduction of herbaceous plants // *Water Air Soil Pollution*. 2007. Vol. 186. P. 183–194.
32. Mengoni A. et al. Evolution of copper tolerance and increased expression of a 2 h – type – metallothionein gene in *Silene paradoxa* L. populations // *Plant and Soil*. 2003. Vol. 254. No 2. P. 451–457.
33. Pellicer J., Clermont S., Houston L., Rich T. C., Fay M. F. Cytotype diversity in the *Sorbus* complex (*Rosaceae*) in Britain: sorting out the puzzle // *Annals of Botany*. 2012. Vol. 110. P. 1185–1193.
34. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. 351 p.
35. Rich T. C., Proctor M. C. Some new British and Irish *Sorbus* L. taxa (*Rosaceae*) // *Watsonia*. 2009. Vol. 27. P. 207–216.
36. Stetsenko L. A., Kozhevnikova A. P., Kartashov A. V. Salinity attenuates nickel-accumulating capacity of *Atropa belladonna* plants // *Russian J. of Plant Physiology*. 2017. Vol. 64. No 4. P. 486–496.
37. Zverev V. E., Zvereva E. L., Kozlov M. V. Slow growth of *Empetrum nigrum* in industrial barrens: Combined effect of pollution and age of extant plants // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. XX. P. 1–7.

Поступила в редакцию 01.02.2018