

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРОДЕ КИРОВСК  
(МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО СОСТОЯНИЮ ХВОИ ЕЛИ СИБИРСКОЙ**

© 2020

**Александрова Е.Ю.<sup>1</sup>, Троценко А.А.<sup>1</sup>, Калиновская Л.С.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Мурманский арктический государственный университет (г. Мурманск, Российская Федерация)<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

*Аннотация.* В статье представлены данные по оценке качества окружающей среды по состоянию хвои ели сибирской (*Picea obovata*) в городе Кировск Мурманской области за период – осень 2019 года. Подтверждено, что методики биоиндикации состояния окружающей среды с использованием хвойных растений основываются, в первую очередь, на изучении их морфологических и структурных изменений. Выявлено, что состояние хвои ели сибирской в исследуемом районе (г. Кировск Мурманской области) оценивается как удовлетворительное. Средний процент площади поврежденных растений в разных пунктах отбора проб колеблется от 1,96 до 2,4%. С высотой дерева хвоя становится более подверженной усыханию, что может быть связано с увеличением возраста (старением) побегов и хвои, а также с действием абиотических факторов (ветер, осадки). Зависимость величины среднего процента повреждений от высоты не выявлена. Основной вывод заключается в том, что состояние окружающей среды в городе Кировск Мурманской области оценено как «хорошее». Показатели оценки состояния окружающей среды в исследуемых районах отличаются незначительно. Полученные данные могут быть использованы при мониторинге окружающей среды различных районов Мурманской области и других субъектов северных широт, при формировании плана природоохранных мероприятий и экологического мониторинга различных промышленных предприятий Мурманской области.

*Ключевые слова:* биоиндикация; качество окружающей среды; хвойные растения; химическое загрязнение; абиотические факторы.

**ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT IN KIROVSK (MURMANSK REGION)  
BASED ON THE STATE OF SIBERIAN SPRUCE NEEDLES**

© 2020

**Aleksandrova E.Y.<sup>1</sup>, Trotsenko A.A.<sup>1</sup>, Kalinovskaya L.S.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)<sup>2</sup>Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russian Federation)

*Abstract.* The paper presents data on environmental quality assessment of the state of Siberian spruce needles (*Picea obovata*) in Kirovsk, Murmansk Region for the period – autumn 2019. It is confirmed that the methods of bioindication of the environment using coniferous plants are based primarily on the study of their morphological and structural changes. It was found that the condition of Siberian spruce needles in the study area (Kirovsk, Murmansk Region) is assessed as satisfactory. The average percentage of the area of damaged plants at different sampling points ranges from 1.96 to 2.4%. With the height of the tree, the needles become more susceptible to drying out, which may be due to an increase in the age (aging) of shoots and needles, as well as the action of abiotic factors (wind, precipitation). The dependence of the average percentage of damage on height was not revealed. The main conclusion is that the state of the environment in Kirovsk, Murmansk Region is rated as «good». Indicators for assessing the state of the environment in the study areas differ slightly. The obtained data can be used for monitoring the environment of various districts of the Murmansk Region and other areas of Northern latitudes, for making a plan of environmental measures and environmental monitoring of various industrial enterprises of the Murmansk Region.

*Keywords:* bioindication; environmental quality; coniferous plants; chemical pollution; abiotic factor.

**Введение**

С ростом городов и развитием промышленности перед людьми встала проблема загрязнения окружающей среды, в частности – атмосферного воздуха [1, с. 32]. Согласно исследованиям, на загрязнение окружающей среды остро реагируют хвойные древесные растения. Характерными признаками неблагоприятной окружающей среды, в частности – газового состава атмосферы, является уменьшение размеров ряда органов, наличие разного рода хлорозов и некрозов. Существует несколько подходов к биоиндикации по хвойным породам деревьев: исследова-

ние общего состояния деревьев, определение состояния хвои по некрозам и усыханиям; определение площади поверхности хвои; определение состояния генеративных органов; состояние прироста последних лет; определение продолжительности жизни хвои. Удобство использования хвойных для биоиндикации состоит в том, что наблюдения возможны круглогодично как на небольших, так и на значительных по масштабу территориях [2, с. 50].

*Цель исследования:* оценить качество окружающей среды по состоянию хвои ели сибирской (*Picea obovata*) в городе Кировск Мурманской области.

**Задачи:** проанализировать состояния хвои ели сибирской в трёх районах города Кировск (въезд в город со стороны г. Апатиты, северный склон г. Айкуайвенчорр, гаражный кооператив по ул. 50 лет Октября); оценить состояние окружающей среды в городе Кировск Мурманской области.

Развитие каждого растительного организма включает ряд этапов, характеризующихся различием по морфологическим и физиологическим признакам. При выделении этапов развития хвойных растений используют, главным образом, морфологические признаки. Влияние загрязненного воздуха на растения происходит не только путем прямого действия на ассимиляционный аппарат, но и путем косвенного воздействия через почву [3, с. 90].

Выбор ели сибирской (*Picea obovata*) в качестве объекта исследования обусловлен широкой распространенностью вида в пределах Мурманской области [4, с. 10]. Сосна обыкновенная, ель, пихта наиболее чувствительны к повышенному содержанию диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и хлора (Cl) и радиационному заражению. Высокая чувствительность у хвойных также наблюдается (при длительном воздействии) к таким веществам, как: фтороводород (HF), хлороводород (HCl), аммиак (NH<sub>3</sub>). Говоря о макроскопических изменениях, следует отметить прежде всего изменения окраски листьев, к которым относятся хлорозы, пожелтение, побурение, побронзовение, посеребрение хвои, что свидетельствует о первых стадиях тяжёлых морфофункциональных изменений у хвойных растений [5, с. 250]. Изменения размеров и формы органов чаще всего носят неспецифичный характер. Так, в окрестностях промышленных предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны может увеличиваться под действием нитратов и укорачиваться под действием SO<sub>2</sub>. Таким образом, можно говорить о том, что при среднегодовом содержании SO<sub>2</sub> в воздухе до 10 мкг/м<sup>3</sup> наблюдается нормальное развитие хвойных растений. [6, с. 101].

#### Характеристика района исследования

Город Кировск расположен в центре Кольского полуострова. АО «Апатит» – предприятие, оказывающее основное воздействие на состояние окружающей среды городского округа, включает в себя четыре рудника, две обогатительные фабрики. Основной вид выпускаемой продукции – апатитовый, сфеновый и нефелиновый концентраты, используемые в дальнейшем для производства текстиля, фаянса, чистых химических элементов (натрий, алюминий, калий, титан), для производства минеральных удобрений [7].

Для отбора проб было выбрано три точки в разных районах города. Первым местом отбора проб (пункт № 1) был выбран участок на въезде в город Кировск со стороны города Апатиты, расположенный в 40–100 м от основной автодороги, рядом с проселочной дорогой. Расстояние до ближайших жилых домов около 300 м. Рядом протекает река Белая.

Вторым местом отбора проб (пункт № 2) был выбран северный (городской) склон горы Айкуайвенчорр, находящийся в северной части города Кировск. На склонах горы расположены горнолыжные подъёмники и горнолыжные трассы, которые, однако, не затрагивают непосредственно район отбора проб.

Основное воздействие на склон оказывает строительство административно-спортивного комплекса СДЮСШОР по горнолыжному спорту, которое продлится до 2022 г. Данный строительный объект следует рассматривать как дополнительный источник выбросов (работа ДВС) [7].

Третьим местом отбора проб (пункт 3) был выбран район гаражного кооператива по улице 50 лет Октября, на склоне, ниже пролегания лыжной трассы, в 100 метрах от дома № 33а.

В каждом пункте было выбрано несколько участков, в которых были отобраны пробы. Описание методики проведения исследования приведено в следующем разделе.

#### Методы исследования

Анализ хвои по методике О.П. Мелеховой проводится в несколько этапов [8, с. 195]:

1) Путем осмотра побегов с хвоей по количеству мутовок определяется продолжительность жизни хвои.

2) С помощью биологической измерительной лупы, предварительно установив цену деления лупы, производят измерение длины и ширины хвоинок (не менее 50-ти хвоинок с каждого дерева) на побеге прошлого года.

3) Анализ хлорозов и некрозов заключается в определении доли повреждений и классов усыхания хвои на кончиках и на всей их поверхности с обязательным занесением всех данных в таблицы. Цвет повреждений является информативным качественным признаком и может быть различным: от красновато-бурого и жёлто-коричневого до сизого [9].

4) Полусферическая поверхность хвоинок оценивается по формуле 1 [8]:

$$TAn_{пол.} = \pi r L (1),$$

где:  $r$  – 1/2 ширины плоской части хвои;  $L$  – длина хвои.

5) Общая поверхность хвоинки оценивалась по формуле 2:

$$TAn_{общ.} = \pi r + (2r)L (2),$$

где:  $r$  – 1/2 ширины плоской части хвои;  $L$  – длина хвои.

6) Анализ результатов, формулировка выводов о состоянии окружающей среды.

Отбор проб во всех трёх пунктах осуществлялся 13.10.2019 г. Температура воздуха в этот день в среднем составляла +3°C, временами наблюдались осадки в виде мокрого снега. Все три пункта отбора проб были разбиты на несколько участков, на каждом участке было выбрано по два дерева высотой 2–2,2 м, с обхватом ствола 16–18 см на небольшом удалении (не более 10 м) друг от друга. Пробы отбирались на высоте 1,5 м от земли [10, с. 200; 11].

Для пункта № 1 было выбрано три участка отбора проб на расстоянии 30 м друг от друга, удалённые от основной трассы на 40, 70 и 100 м соответственно.

Для пункта № 2, расположенного на склоне, предварительно была отмечена высота начальной точки отбора проб – подножие склона, около 390 м над уровнем моря, в непосредственной близости от строительного объекта, а также – высота конечной точки, исходя из того, что пояс хвойных лесов не

*Результаты*

поднимается выше 470 м над уровнем моря – граница окончания хвойного леса, около 450 м над уровнем моря. Учитывая, что склон имеет уклон, было принято решение выбрать пять участков через каждые 20 м, чтобы дополнительно установить, изменяется ли состояние хвой с высотой.

В пункте № 3 обнаружено большое количество деревьев с обломанными верхушками, это может быть связано со сходом лавин в зимний период. Для пункта № 3, как и для пункта № 1, было выбрано три участка отбора проб на расстоянии 30 м друг от друга, на разном удалении от гаражного кооператива – 20, 50, 80 м. Средний возраст хвой на исследуемых побегах составил 3 года.

Достоверность представленных показателей подтверждена с использованием онлайн-приложения для определения критерия Стьюдента (зона незначимости различий).

Для оценки состояния окружающей среды по комплексу признаков хвойных была использована шкала оценки, представленная в таблице 1.

Результаты анализа представлены в таблице 2 и 3.

Из приведённых в таблицах количественных данных следует, что в целом состояние атмосферного воздуха в исследуемом районе оценивается как хорошее. Можно также выделить некоторые закономерности для каждого из пунктов.

Так, для пункта № 1 (въезд в город) отмечено, что чем удалённее участок от дороги, тем меньше доля повреждений и класс усыхания у ели сибирской. Это, вероятно, связано с тем, что с удалением от основной трассы уменьшается количество влияющих на растения выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта. Для наглядности был построен график (рис. 1), отражающий данную закономерность.

**Таблица 1** – Шкала оценки состояния окружающей среды

Категория состояния окружающей среды	Состояние хвой		
	Средняя доля повреждений, %	Превалирующий класс усыхания	Характеристика повреждений
Хорошее	Не более 5	1	Пятна отсутствуют
Удовлетворительное	5–10	2	Обнаруживаются чёрные и желтые пятна
Неудовлетворительное	10–20	3	Отмечается частичное усыхание хвой
Крайне неудовлетворительное	Более 20	4	Наблюдается усыхание хвой

**Таблица 2** – Результаты анализа повреждений хвой

№ пробы (участок)	Класс усыхания (доля повреждённой хвой, %)				Суммарная доля повреждённых хвойнок по II–IV классам усыхания, %
	I (усыхание отсутствует)	II (усыхание 2–5 мм)	III (усыхание 1/3)	IV (усыхание более 1/2)	
1.1 (1)	68	30	2	–	32
1.1 (2)	68	32	–	–	32
1.2 (1)	76	24	–	–	24
1.2 (2)	72	28	–	–	28
1.3 (1)	84	14	2	–	16
1.3 (2)	86	14	–	–	14
2.1 (1)	98	2	–	–	2
2.1 (2)	96	–	–	4	4
2.2 (1)	100	–	–	–	–
2.2 (2)	66	14	20	–	34
2.3 (1)	84	4	10	2	16
2.3 (2)	86	8	6	–	14
2.4 (1)	80	18	–	2	20
2.4 (2)	90	6	2	2	10
2.5 (1)	70	26	4	–	30
2.5 (2)	52	42	6	–	48
3.1 (1)	54	46	–	–	46
3.1 (2)	56	40	4	–	44
3.2 (1)	78	20	2	–	22
3.2 (2)	74	24	2	–	26
3.3 (1)	78	22	–	–	22
3.3 (2)	88	12	–	–	12

**Таблица 3** – Оценка состояния окружающей среды на исследуемой территории

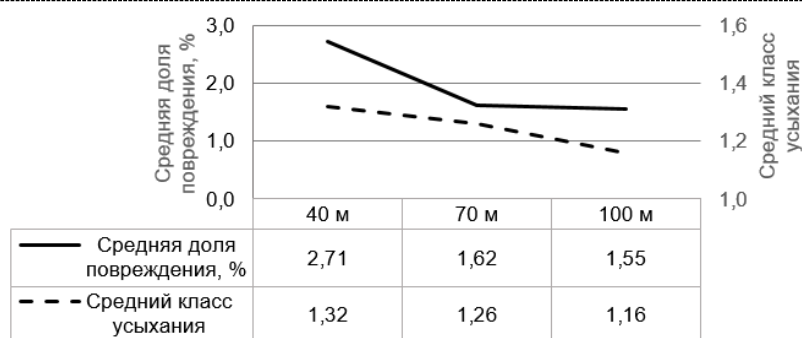
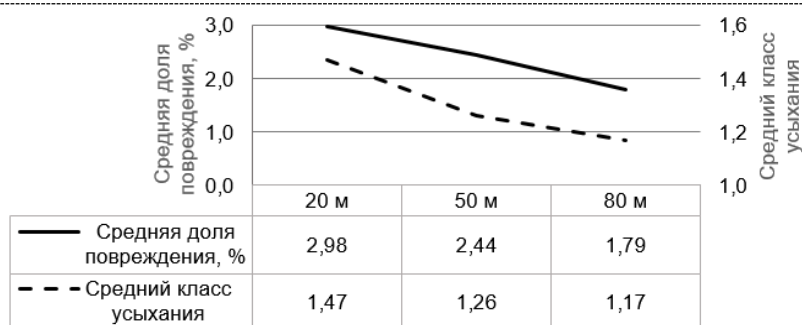
№ участка	Результаты анализа проб		
	Средняя доля повреждения, %	Средний класс усыхания	Категория состояния окружающей среды
1.1	2,71	1,32	Хорошее
1.2	1,62	1,26	Хорошее
1.3	1,55	1,16	Хорошее
Средний показатель для пункта № 1	1,96	1,25	Хорошее
2.1	2,81	1,07	Хорошее
2.2	1,07	1,07	Хорошее
2.3	2,24	1,25	Хорошее
2.4	2,72	1,20	Хорошее
2.5	1,47	1,44	Хорошее
Средний показатель для пункта № 2	2,06	1,21	Хорошее
3.1	2,98	1,47	Хорошее
3.2	2,44	1,26	Хорошее
3.3	1,79	1,17	Хорошее
Средний показатель для пункта № 3	2,40	1,30	Хорошее
Средний показатель по городу Кировск	2,14	1,25	Хорошее

При качественном анализе пункта № 2 (склон горы Айкуайвенчорр) обнаружено, что с высотой увеличивается число усохших хвоинок, что, вероятно, связано с усилением действия ветра (скорость подачи влаги в растущие органы растений не успевает за высоким уровнем транспирации). Однако достоверная зависимость средней доли повреждений хвои от высоты не выявлена.

Для пункта № 3 (в районе гаражного кооператива) выявлена следующая зависимость: чем удалённее участок от гаражного кооператива, тем лучше состояние хвои ели сибирской. Это, вероятно, связано с уменьшением антропогенных воздействий – так, из

гаражных кооперативов часто происходит загрязнение почвы нефтепродуктами и ПАВ (например, при мытье машин), а также происходит загрязнение атмосферного воздуха при работе автомобильных двигателей. Зависимость отражена на графике (рис. 2).

Полученные данные могут быть использованы при мониторинге окружающей среды различных районов Мурманской области и других субъектов северных широт, при формировании плана природоохранных мероприятий и экологического мониторинга различных промышленных предприятий Мурманской области [12–14].

**Рисунок 1** – Динамика показателей состояния хвои ели сибирской с изменением расстояния от автотрассы**Рисунок 2** – Динамика показателей состояния хвои ели сибирской с изменением расстояния от гаражного кооператива

**Выводы**

1. Подтверждено, что исследование общего состояния деревьев, определение площади поверхности и состояния хвой, обнаружение некрозов и определение класса усыхания, определение состояния генеративных органов и продолжительности жизни хвой – всё это является основным подходом в биоиндикации окружающей среды с использованием хвойных растений.

2. Состояние хвой ели сибирской в исследуемом районе (г. Кировск Мурманской области) оценивается как удовлетворительное. Средний процент площади поврежденных растений в разных пунктах отбора проб колеблется от 1,96 до 2,4%. Установлено, что с удалением от автодорог и гаражных кооперативов, состояние хвой улучшается. Также обнаружено, что с высотой хвоя становится более подверженной усыханию, что может быть связано с увеличением возраста (старением) побегов и хвой, а также с действием абиотических факторов (ветер, осадки). Зависимость величины среднего процента поврежденных от высоты не выявлена.

3. Согласно используемой шкале оценки состояние окружающей среды в городе Кировск Мурманской области оценено как «хорошее». Показатели оценки состояния окружающей среды в исследуемых районах отличаются незначительно.

**Список литературы:**

1. Калякина Р.Г., Рябухина М.В., Рябинина З.Н., Ангальт Е.М. Эколого-биологические особенности хвойных пород деревьев в урбанизированной среде: монография. Оренбург: Издат. центр ОГАУ, 2018. 171 с.  
 2. Прожорина Т.И., Каверина Н.В., Иванова Е.Ю., Федорова А.И., Анциферова Г.А., Муравьев А.Г., Михеева М.А., Сиваченко В.В., Трегуб Т.Ф. Эколого-аналитические методы исследований окружающей среды. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. 304 с.  
 3. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2012. Т. 4, № 1. С. 82–92.

4. Aleksandrova E.Yu., Trotsenko A.A., Minchenok E.E., Kovaleva T.O., Katansky A.A. Bioindication potential of conifers for environmental assessment // Agritech-II – 2019: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421 (1). P. 011001 (1–10). DOI: 10.1088/1755-1315/421/2/022036.  
 5. Авдеева Е.В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде: монография. Красноярск: СибГТУ, 2007. 382 с.  
 6. Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Черникова К.В. Информационно-аналитическая система «Управление качеством городских объектов озеленения» // Хвойные бореальные зоны. 2015. № 3–4. С. 96–102.  
 7. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2018 году. Мурманск: Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области, 2019. 165 с.  
 8. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Академия, 2007. 288 с.  
 9. Шелуха В.П., Бердов А.М., Паничева Д.М. Биоиндикаторы состояния пригородных лесов и их информативность. Брянск: БГИТА, 2011. 182 с.  
 10. Уткин А.И. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292 с.  
 11. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды. Ч. 1: учеб. пособие в 2-х частях. Владимир: Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2007. 82 с.  
 12. Маркова В.Д., Кузнецова С.А. Стратегический менеджмент: понятия, концепции, инструменты принятия решений: справочное пособие. М.: Инфра-М, 2012. 319 с.  
 13. Троценко А.А., Будилова Е.В., Журавлева Н.Г. Показатели резистентности организма человека как биоиндикатор качества окружающей среды // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. № 18. С. 99–113.  
 14. Мустафин А.Г., Пестриков С.В., Ковтуненко С.В., Сабитова З.Ш. Отработанные месторождения полезных ископаемых как источник загрязнения окружающей среды // Экология и промышленность России. 2008. № 11. С. 32–35.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p><b>Александрова Евгения Юрьевна</b>, кандидат педагогических наук, доцент кафедры естественных наук; Мурманский арктический государственный университет (г. Мурманск, Российская Федерация). E-mail: dzhessika_www@mail.ru.</p> <p><b>Троценко Алла Анатольевна</b>, кандидат биологических наук, доцент кафедры естественных наук; Мурманский арктический государственный университет (г. Мурманск, Российская Федерация). E-mail: trotsenko2007@yandex.ru.</p> <p><b>Калиновская Людмила Сергеевна</b>, магистрант кафедры геоэкологии и природопользования; Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация). E-mail: cooldances19@gmail.com.</p>	<p><b>Aleksandrova Evgenia Yurievna</b>, candidate of pedagogical sciences, associate professor of Natural Sciences Department; Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation). E-mail: dzhessika_www@mail.ru.</p> <p><b>Trotsenko Alla Anatolyevna</b>, candidate of biological sciences, associate professor of Natural Sciences Department; Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation). E-mail: trotsenko2007@yandex.ru.</p> <p><b>Kalinovskaya Lyudmila Sergeevna</b>, master student of Geoecology and Nature Management Department; Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russian Federation). E-mail: cooldances19@gmail.com.</p>

**Для цитирования:**

Александрова Е.Ю., Троценко А.А., Калиновская Л.С. Оценка качества окружающей среды в городе Кировск (Мурманская область) по состоянию хвой ели сибирской // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 3. С. 10–14. DOI: 10.17816/snv202093101.