

УДК 630*17

ХВОЯ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA* L.) КАК ИНДИКАТОР АЭРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

¹Попельницкая И.М., ¹Палкина А.А., ²Шилина Н.Г., ³Попельницкий Е.В.,
¹Почекутов С.И., ¹Герашенко С.М.

¹ФГАО ВО «Сибирский федеральный университет», Институт экологии и географии,
Институт архитектуры и дизайна, Красноярск, e-mail: office@sfu-krsk.ru;

²ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого», Красноярск, e-mail: shilinang@yandex.ru;

³Сибирский юридический институт МВД Российской Федерации,
Красноярск, e-mail: evilmorning@mail.ru

В работе изучалось состояние искусственно высаженных деревьев ели сибирской (*Picea obovata* L.), произрастающей на двух площадях: в зоне активного загрязнения автомагистрали и условно чистой рекреационной зоне. Измерялась длина и ширина хвои 1, 2 и 3-го года жизни. Средние значения длины и ширины хвои ели, произрастающей в условно чистой зоне, больше для всех лет ее жизни. При этом отмечено увеличение скорости прироста длины для всех лет жизни хвои у деревьев, произрастающих вдоль автодороги. Доказан флуктуирующий характер асимметрии. По величине интегрального показателя оценено жизненное состояние 20 деревьев ели сибирской (*Picea obovata* L.), произрастающих на исследованных площадях Октябрьского района г. Красноярска. Средние значения интегрального показателя флуктуирующей асимметрии хвои ели, произрастающей в зоне активного загрязнения автотранспорта, статистически достоверно отличаются в зависимости от года жизни, для ели, произрастающей в рекреационной зоне эко-парка «Гремячая Грива», данные отличия отсутствуют. Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии хвои первого и второго года в зоне активного загрязнения в два раза превышает таковой в рекреационной зоне, а для хвои третьего года прироста – в 4 раза соответственно. Выявлены различия в степени поражения хлорозом хвои ели, произрастающей на исследуемых участках, испытывающих разную антропогенную нагрузку. По всем полученным показателям уровень загрязнения вдоль автомобильной трассы выше, чем в рекреационной зоне, что свидетельствует о возможности использования ели сибирской как индикатора аэрогенного загрязнения городской среды.

Ключевые слова: морфометрические признаки, флуктуирующая асимметрия, направленная асимметрия, антисимметрия, ель сибирская, хлороз

NEEDLES OF SIBERIAN SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.) AS AN INDICATOR OF AEROGENIC POLLUTION OF THE URBAN ENVIRONMENT

¹Popelnitskaya I.M., ¹Palkina A.A., ²Shilina N.G., ³Popelnitskiy E.V.,
¹Pochekutov S.I., ¹Gerashchenko S.M.

¹Siberian Federal University, Institute of Ecology and Geography,
Institute of Architecture and Design, Krasnoyarsk, e-mail: office@sfu-kras.ru;

²Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenevsky,
Krasnoyarsk, e-mail: shilinang@yandex.ru;

³Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,
Krasnoyarsk, e-mail: evilmorning@mail.ru

The paper presents the features of artificially planted Siberian spruce (*Picea obovata* L.) trees growing in two areas: in the zone of fume pollution of the highway and conditionally clean recreational zone. The length and width of needles of the 1st, 2nd and 3rd year of life were measured. The average values of the length and width of the needles of a spruce growing in a conditionally clean zone are larger for all years. At the same time, the higher rate of length increase for all years of life of needles in trees growing along the highway was noted. The fluctuating nature of the asymmetry is proved. The vital condition of 20 Siberian spruce trees (*Picea obovata* L.) growing on the studied areas of the Oktyabrsky district of Krasnoyarsk was estimated by the value of the integral indicator. The average values of the integral indicator of the fluctuating asymmetry of spruce needles growing in the zone of exhaustive fumes statistically differ significantly depending on the year of life. As for the spruce growing in the recreational zone of the eco-park Gremyachaya Griva, these differences are absent. The integral indicator of the fluctuating asymmetry of the needles of the first and second year in the zone of active pollution is twice as high as that in the recreational zone, and for the needles of the third year the increase is 4 times, respectively. Differences in the degree of chlorosis damage to spruce needles growing in the studied areas experiencing different anthropogenic loads were revealed. According to all the obtained indicators, the level of pollution along the highway is higher than in the recreational zone, which indicates the possibility of using Siberian spruce as an indicator of aerogenic pollution for the urban environment.

Keywords: morphometric features, fluctuating asymmetry, directional asymmetry, antisymmetry, Siberian spruce, chlorosis

Современный город трудно представить без древесных растений и кустарников, которые наряду с важной экологической

функцией – очищения приземных слоев атмосферного воздуха, также выполняют эстетическую функцию.

В озеленении города Красноярска в последние десятилетия достаточно активно используются искусственные посадки хвойных растений, в частности, ели сибирской (*Picea obovata* L.), которая является вечнозеленым растением и с эстетической точки зрения наиболее выигрышным, особенно в продолжительный зимний период. При этом необходимо учитывать, что состояние древесных растений очень сильно зависит от здоровья окружающей среды. Уровень загрязнения атмосферного воздуха города Красноярска, на протяжении последних десятилетий, характеризуется как очень высокий и высокий. Для Красноярска, как и для большинства больших городов, существует острая проблема загрязнения атмосферного воздуха передвижными источниками, вклад которых в валовые выбросы загрязняющих веществ составляет более 40% [1]. Ранее проводилась оценка стабильности развития тополя бальзамического, произрастающего вдоль автотрассы [2], в связи с чем возник интерес оценить стабильность развития ели сибирской, произрастающей в зоне активного загрязнения транспортной магистрали.

Цель исследования: оценить жизненное состояние ели сибирской, произрастающей в зоне активного загрязнения автотранспорта и в рекреационной зоне Октябрьского района г. Красноярска.

Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны две площади с простыми чистыми искусственными посадками ели сибирской на проспекте Свободном города Красноярска. Первая – в зоне активного загрязнения, на расстоянии менее 50 м от центра дороги (ПП-1), вторая площадь (ПП-2) расположена на территории эко-парка «Гремячая Грива» в этом же районе, вдали от транспортной развязки и туристических троп, в связи с чем ее можно считать условно чистой и отнести к контрольной.

На каждой исследованной площади было выбрано по 10 деревьев, высоту которых измеряли при помощи измерителя VERTEXIY.

Предварительная оценка состояния ели сибирской проводилась в соответствии с приказом Рослесхоза для хвойных пород [3].

Для изучения морфометрических признаков с каждого дерева собирали по 20 пар хвоинок первого, второго и третьего года прироста хвои. Хвоя была собрана из од-

ной и той же части кроны равномерно вокруг дерева на расстоянии вытянутой руки, что соответствует высоте рекомендованной методикой [4]. Длину хвои определяли с помощью штангенциркуля, ширину под микроскопом с помощью объект-микрометра. Материал обрабатывали сразу после сбора.

Для определения флуктуирующей асимметрии необходимо было разделить часть ветки ели пополам, так, чтобы четко можно было наблюдать побег. Затем находили иголки, лежащие симметрично друг перед другом. С каждой пары иголок снимали показатели по двум промерам с левой и правой сторон хвои (рис. 1).



Рис. 1. Схема промеров хвои ели сибирской: 1 – длина хвои, 2 – ширина хвои; 3 и 4 – левая и правая части измерений соответственно

Для оценки флуктуирующей асимметрии использовали два билатеральных признака: длину и ширину хвои [5].

Показатель флуктуирующей асимметрии для каждой пары хвоинок рассчитывали как отношение разности величин слева и справа к их среднему значению, согласно методике [6]:

$$2|(W_{\text{л}} - W_{\text{п}})/(W_{\text{л}} + W_{\text{п}})|, \quad (1)$$

где $W_{\text{л}}$, $W_{\text{п}}$ – измеряемое значение признака с левой и правой стороны соответственно.

Распределение билатеральных признаков и их разности должно подчиняться нормальному закону распределения. Необходимо также исключить направленную асимметрию. Для оценки характера распределения использовали критерий Колмогорова – Смирнова (К-С), для оценки на-

правленности – дисперсионный анализ [7]. Обработка результатов проводилась в пакете анализа «Статистика Version10».

Для оценки стабильности деревьев использовали балльную шкалу, предложенную О.Н. Блащинской.

Таблица 1

Шкала балльной оценки показателей стабильности развития

Балл	Величина показателя стабильности развития (ФА)	Состояние среды
I	< 0,020	условная норма
II	0,020-0,030	умеренное загрязнение
III	0,030-0,040	значительное загрязнение
IV	0,040-0,050	сильное загрязнение
V	> 0,050	экстремальное загрязнение

Для оценки выраженности на хвое хлорозов по бонитетным классам с каждого дерева в хаотичном порядке изымалась хвоя (по 160 шт.), и для каждой хвоинки определяли класс хлороза. Хлорозы: нет сухих участков, кончик на 2-5 мм усох, усохла треть хвоинки, вся хвоинка желтая или более половины ее сухая.

Результаты исследования и их обсуждение

Высота деревьев на площади ПП-1 $h = 4,5 \pm 0,04$ м, на ПП-2 $h = 4,45 \pm 0,03$ м. Достоверных различий по высоте не выявлено.

В целом состояние деревьев соответствует первому баллу: хвоя зеленая, блестящая, крона густая, прирост текущего года для данной породы нормальный, таким образом, их можно отнести к здоровым без признаков ослаблений. У двух деревьев на площади ПП-1 и одного дерева на площади ПП-2 крона светлее обычного, слабо ажурная, прирост уменьшен, но незначительно, в связи с чем данные ели можно отнести к категории ослабленные. Сильно ослабленные или усыхающих деревьев на исследованных площадях нет. В результате визуальной оценки елей, произрастающих на исследуемых площадях, существенных различий не выявлено.

Флуктуирующая асимметрия хвои не должна иметь четко выраженной направленности, и характер ее изменения должен быть случайным. Правая и левая хвоинка, так же как правая и левая стороны листовой пластины, должны изменяться независи-

мо друг от друга, не должно быть направленной асимметрии (НА) и антисимметрии (АС) [8]. Для этого необходимо оценить характер распределения используемых билатеральных признаков и отсутствие достоверных различий между их значениями справа и слева.

Для исключения АС были оценены на нормальность распределения используемых признаков: длина, ширина хвои слева и справа и разность между ними для хвои первого, второго и третьего года для всех исследуемых деревьев. Так как исследовались выборки большого объема (по 200 хвоинок для каждого года жизни), оценивать характер распределения целесообразно с использованием критерия Колмогорова – Смирнова. В нашем случае, если $K-S D_{кр} < 0,155$, распределение подчиняется нормальному закону.

В связи с большим объемом статистических данных и графиков для подтверждения полученных результатов приведены материалы для хвои первого года для двух исследованных площадей. В качестве примера на рис. 2 приведены нормальные вероятностные графики для ширины хвои 1-го года деревьев, произрастающих в зоне активного загрязнения.

Полученные графики свидетельствуют о нормальном распределении данных билатеральных признаков, так как присутствуют лишь незначительные отклонения. При этом значения К-С равны для ширины на ПП-1: $D_{левая} = 0,094$ и $D_{правая} = 0,09$ для хвои 1 года; $D_{левая} = 0,119$ и $D_{правая} = 0,13$ для хвои 2 года; $D_{левая} = 0,112$ и $D_{правая} = 0,11$ для хвои 3 года. Для ширины на ПП-2: $D_{левая} = 0,132$ и $D_{правая} = 0,089$ для хвои 1 года; $D_{левая} = 0,028$ и $D_{правая} = 0,132$ для хвои 2 года; $D_{левая} = 0,081$ и $D_{правая} = 0,11$ для хвои 3 года. Во всех случаях статистическое значение К-С для распределения левых и правых хвоинок меньше его критического значения $D_{ст} = 0,155$, что свидетельствует о нормальном распределении признака.

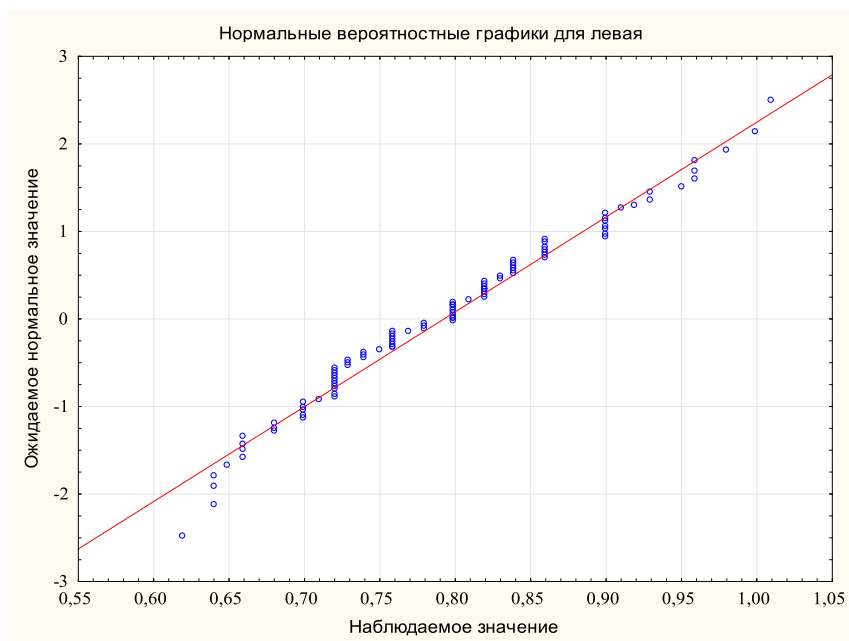
Результаты статистического анализа, распределения ширины хвои первого года ели сибирской, произрастающей в рекреационной зоне ПП-2, приведены на рис. 3.

Согласно полученным данным статистического анализа, распределение ширины хвои слева и справа (рис. 3) для площади ПП-2 подчиняется закону нормального распределения. Для ширины хвои К-С равны для ПП-1: $D_{левая} = 0,12$ и $D_{правая} = 0,089$ для хвои 1 года; $D_{левая} = 0,111$ и $D_{правая} = 0,123$ для хвои 2 года;

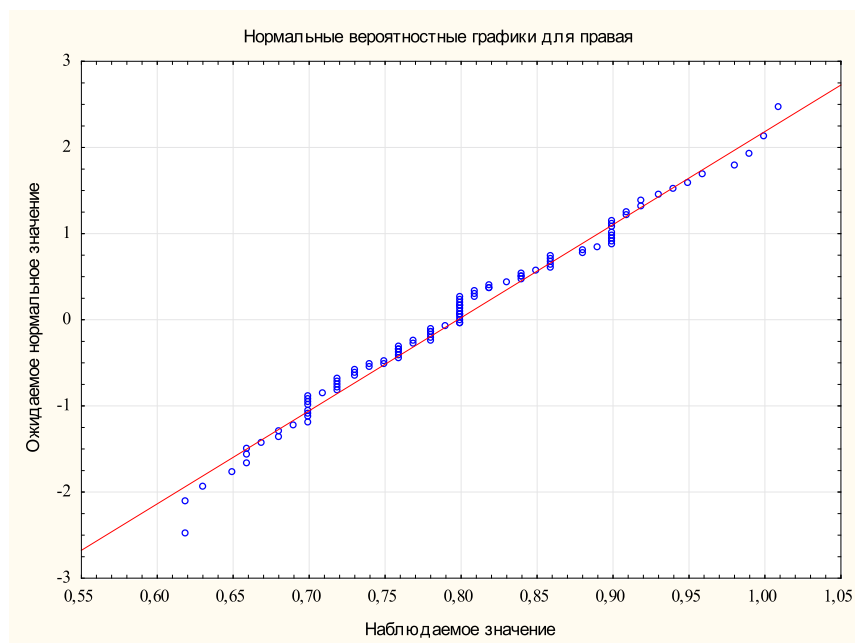
$D_{\text{левая}} = 0,081$ и $D_{\text{правая}} = 0,101$ для хвои 3 года. Для ПП-2: $D_{\text{левая}} = 0,0807$ и $D_{\text{правая}} = 0,089$ для хвои 1 года; $D_{\text{левая}} = 0,068$ и $D_{\text{правая}} = 0,100$ для хвои 2 года; $D_{\text{левая}} = 0,103$ и $D_{\text{правая}} = 0,08$ для хвои 3 года. Во всех случаях статистическое значение К-С для распределения левых и правых хвоинок меньше его критического

значения $D_{\text{ст}} = 0,155$, что свидетельствует о нормальном распределении признака ширина хвои.

Наличие или отсутствие направленной асимметрии выявляли с помощью дисперсионного анализа, где в качестве фактора выступала «сторона» (левая, правая).



а)



б)

Рис. 2. Ширина хвои первого года ПП-1: а) левая хвоинка, б) правая хвоинка

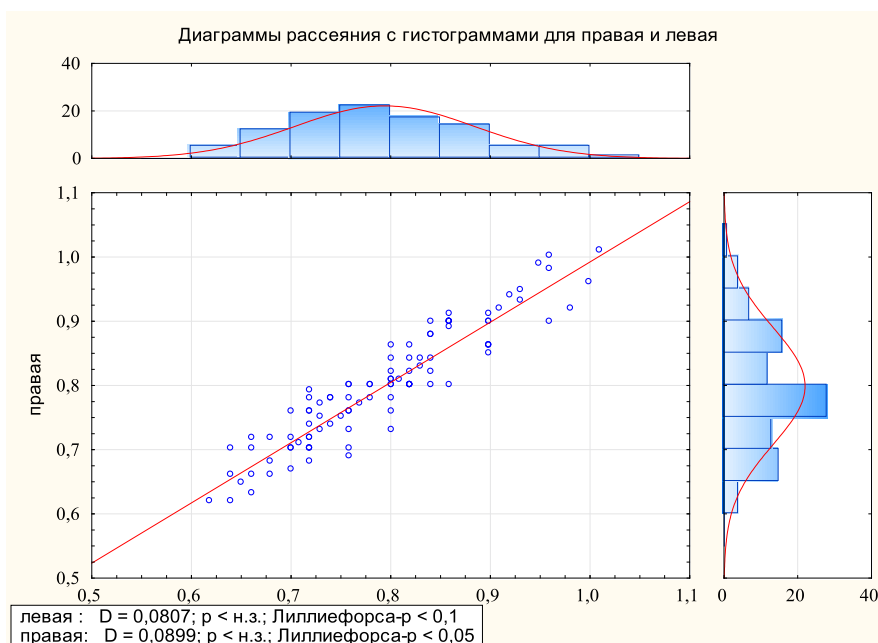


Рис. 3. Распределение ширины хвои первого года слева и справа на площади ПП-2

Таблица 2

Результаты однофакторного дисперсионного анализа
 билатеральных признаков хвои ($F_{кр} = 3,86$)

Год жизни	ПП-1				ПП-2			
	Длина		Ширина		Длина		Ширина	
	$F_{эксп}$	p	$F_{эксп}$	p	$F_{эксп}$	p	$F_{эксп}$	p
1	0,19	0,66	0,32	0,57	0,09	0,76	0,16	0,68
2	0,40	0,53	0,85	0,36	1,15	0,21		
3	0,7	0,38	1,05	0,3	0,88	0,35	0,56	0,45

Для всех лет жизни хвои нет достоверных различий между значениями признаков слева и справа. Все полученные экспериментальные значения критерия меньше его критического значения $F_{кр} = 3,86$ (табл. 3). То есть отклонения правой и левой хвоинки для каждого признака относятся к одной выборочной совокупности, следовательно, мы можем считать, что направленная асимметрия (НА) отсутствует.

Статистический анализ значений длины и ширины хвои ели сибирской подтвердил случайный характер асимметрии, что позволяет использовать интегральный показатель флуктуирующей асимметрии для оценки стабильности развития деревьев.

Расчетные значения интегрального показателя ФА приведены в табл. 3.

Значения ФА для различных лет жизни хвои ели в условно чистой рекреационной зоне не имеют статистически достоверных

отличий и соответствуют I баллу стабильности развития (табл. 1). Для ели, произрастающей в зоне активного загрязнения, значение ФА для хвои третьего года жизни статистически достоверно отличается от асимметрии хвои первого и второго года жизни ($p < 0,05$). Значения ФА хвои первого и второго года жизни соответствуют III баллу стабильности развития, а третьего года – IV, что свидетельствует о значительном загрязнении (табл. 1). При этом можно отметить, что значение интегрального показателя ФА хвои первого и второго года в зоне активного загрязнения в два раза превышает значение ФА хвои ели, произрастающей в условно чистой зоне, а для хвои третьего года прироста в 4 раза соответственно. По-видимому, последнее можно объяснить уменьшением транспортного потока, связанного с пандемическими ограничениями, а также способностью хвои накапливать загрязняющие вещества [9].

Таблица 3

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии (ФА) для хвои разных лет жизни

ПП-2 эко-парк «Гремячая Грива»			
	1 год	2 год	3 год
ФА	$0,014 \pm 0,0015$	$0,016 \pm 0,001$	$0,015 \pm 0,002$
ПП-1 автомагистраль			
ФА	$0,033 \pm 0,002$	$0,039 \pm 0,003$	$0,052 \pm 0,004$

Таблица 4

Влияние участка произрастания на размеры хвои

Возраст хвои, год	ПП-1		ПП-2	
	Длина хвои, мм	Ширина хвои, мм	Длина хвои, мм	Ширина хвои, мм
1	$12,8 \pm 0,05$	$0,78 \pm 0,002$	$14,05 \pm 0,025$	$0,97 \pm 0,002$
2	$15,7 \pm 0,05$	$0,81 \pm 0,005$	$16,8 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,004$
3	$16,4 \pm 0,07$	$0,9 \pm 0,001$	$17,8 \pm 0,033$	$1,39 \pm 0,005$

Таблица 5

Процентное соотношение хвои, пораженной хлорозом

№ дерева	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП-1	15	25	20	33	20	15	35	20	20	15
ПП-2	8	10	15	10	10	9	25	11	10	10

Усредненные показатели длины и ширины хвои ели, произрастающей на исследуемых участках, приведены в табл. 3. Можно отметить, что эти величины варьируют в зависимости от года жизни хвои и их значения на площади ПП-1 ниже, чем на ПП-2, что совпадает с работами других авторов, отмечавших уменьшение размеров хвои при загрязнении среды [10].

Также можно отметить некую закономерность в изменении морфометрических показателей хвои. Темпы прироста длины хвои на загрязненном участке несколько выше, чем на контрольном. По-видимому, это можно объяснить некоей адаптацией растений к условиям произрастания [10].

Процентное соотношение хвои, пораженной хлорозом на исследованных участках, представлено в табл. 5.

Наибольший процент повреждения хлорозом выявлен у деревьев, относящихся к ослабленным: деревья № 4, 7 (ПП-1) и № 7 (ПП-2) (табл. 5). При этом на условно чистой площади 90% составляют хлорозы 1 и 2 класса, на площади в зоне активного загрязнения 50% составляют хлорозы 1 и 2 класса, 10% – хлорозы 4-го класса, которые в основном выявлены на ослабленных деревьях. Средние показатели поражения хлорозом для площадки ПП-1 составили $22,5 \pm 2,21\%$, для площадки ПП-2 – $11,5 \pm 1,57\%$. Степень поражения

хвои хлорозом статистически достоверно отличается $F_{ст} = 15,02$, $F_{кр} = (p = 0,001)$ для деревьев, произрастающих на различных исследуемых площадях.

Заключение

Проведенные исследования не выявили отличий в состоянии деревьев, произрастающих на различных площадях, по их визуальной оценке.

Проведенный статистический анализ доказал случайный характер изменения билатеральных морфометрических признаков, что позволяет использовать интегральный показатель ФА для оценки состояния изученных древостоев.

Значения интегрального показателя ФА для хвои 1, 2, 3-го годов жизни на условно чистой контрольной площади (ПП-2) не имеют статистически достоверных различий, соответствуют первому баллу по шкале стабильности развития, что соответствует условной норме. Значения интегрального показателя ФА для хвои 1, 2-го годов жизни в зоне активного загрязнения также не имеют статистически достоверных различий и соответствуют третьему баллу по шкале, что свидетельствует о значительном загрязнении, для хвои третьего года на данной площади ФА соответствует четвертому баллу. Среднее значение интегрального показателя для площади ПП-1 можно отнести

к третьему баллу и оценить данную территорию как значительно загрязненную.

Длина и ширина хвои 1, 2, 3-го года жизни на площади ПП-1 меньше, чем на площади ПП-2 ($p < 0,05$), при этом темпы прироста длины хвои выше на площади ПП-1, что также может свидетельствовать о более высоком уровне загрязнения на данной исследуемой площади.

Степень поражения хвои хлорозом статистически достоверна для деревьев, произрастающих на различных исследуемых площадях, и значительно выше на площади в зоне активного загрязнения.

По всем полученным показателям уровень загрязнения вдоль автомобильной трассы (ПП-1) выше, чем в рекреационной зоне (ПП-2), что свидетельствует о возможности использования ели сибирской как индикатора аэрогенного загрязнения городской среды.

Список литературы / References

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае» за 2020 год. Красноярск. 2021. 337 с.
2. State report «On the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory» for 2020. Krasnoyarsk. 2021. 337 p. (in Russian).
3. Popelnitskaia I.M., Semenova A.R., Bukharova Y.B., Popelnitskii Popov A.O. The impact of vehicle emissions on sustainability of balsam poplar (*populusbalsamifera*) in the urban environment of Krasnoyarsk. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2018. Vol. 18. Is. 5.2. P. 973–980. DOI: 10.5593/sgem2018/5.2/S20.125.
4. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 N 472 (ред. от 15.03.2018) Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов. [Электронный ресурс]. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskii-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2_6/tablitza-2/ (дата обращения: 13.11.2021).
5. The Order of the Federal Forestry Agency of 10.11.2011 N 472 (ed. of 15.03.2018) On the approval of Methodological recommendations for the state forest inventory. [Electronic resource]. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rosleskhoza-ot-10112011-n-472-ob-metodicheskii-rekomendatsii-po-provedeniiu-gosudarstvennoi-prilozhenie-29/zashchita-lesov/2_6/tablitza-2/ (date of application: 13.11.2021).
6. Захаров В.М., Чубинишвили С.Г., Дмитриев С.Г., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Крысанов Е.Ю., Кряжева Н.Г., Пронин А.В., Чистякова Е.К. Здоровье среды: практика оценки. Центр экологической политики России. М., 2000. 320 с.
7. Zakharov V.M., Chubinishvili S.G., Dmitriev S.G., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetsky A.V., Krysanov E.Yu., Kryazheva N.G., Pronin A.V., Chistyakova E.K. Environmental health: assessment practice. Center for Environmental Policy of Russia. M., 2000. 320 p. (in Russian).
8. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах // Сибирский лесной журнал институт леса. 2014. № 2. С. 62–72.
9. Skripalshchikova, L.N., Stasova V.V. Bioindicational indicators of the stability of the development of plantings in disturbed landscapes // Sibirskiy lesnoy zhurnal institut lesa. 2014. № 2. P. 62–72 (in Russian).
10. Palmer R.A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: Polak, M. (Ed.), Developmental instability. Causes and consequences. Oxford University Press. 2003. P. 279–319.
11. Козлов М.В. Исследование флуктуирующей асимметрии растений в России: Мифология и методология // Российская академия наук. 2017. № 1. С. 3–12.
12. Kozlov M. V. Study of fluctuating asymmetry of plants in Russia: Mythology and methodology // Rossiyskaya akademiya nauk. 2017. № 1. P. 3–12 (in Russian).
13. Попельницкая И.М., Попов А.О. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя Бальзамического (*Populus Balsamifera* L.) в городской среде // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 72–78.
14. Popelnitskaya I.M., Popov A.O. Fluctuating asymmetry of leaves of Balsamic poplar (*Populus Balsamifera* L.) in urban environment // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2017. № 12. P. 72–78 (in Russian).
15. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В., Тараненко Е.Н. Хвойные деревья как биоиндикаторы загрязнения городской среды полициклическими ароматическими углеводородами // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 13–18.
16. Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V., Taranenko E.N. Coniferous trees as bioindicators of urban environment pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 7. P. 13–18 (in Russian).
17. Есякова О.А., Степень Р.А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям ели сибирской // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 143–148.
18. Yesyakova O.A., Degree R.A. Indication of Krasnoyarsk atmospheric pollution by morphometric and chemical parameters of Siberian spruce // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2008. № 1. P. 143–148 (in Russian).