

УДК 665.1: 664.3.014

## Биоиндикационная оценка загрязнения воздушной среды г. Красноярска

Р.А. Степень<sup>а</sup>, О.А. Есякова<sup>б</sup>

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет» пр. Мира 82, Красноярск, Россия

<sup>а</sup>www.sibstu.kts.ru, <sup>б</sup>Olga-LA83@mail.ru

Статья поступила 16.09.2013, принята 19.11.2013

*Развитие промышленно-энергетического хозяйства и увеличение автомобильного парка крупных городов способствует деградации природной среды и ухудшению здоровья населения. Предприятия выбрасывают огромное количество опасных загрязнителей, в том числе и канцерогенов, увеличивая тем самым число онкологических заболеваний горожан. Результаты стандартных методов определения индекса загрязнения атмосферы зачастую не отражают реального качественного и количественного содержания загрязняющих веществ. Для получения достоверной и более полной информации об экологическом состоянии территорий социальных объектов предлагается использовать биоиндикационные методы. В статье представлены материалы оценки уровня воздействия аэрогенного загрязнения по ответной реакции хвойных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata*), все чаще используемых в целях озеленения городской территории. В ходе исследований были проведены морфометрические измерения длины хвоинок, волюмометрическое определение их объема, проанализированы изменения влажности и пигментной системы ассимиляционного аппарата. Кроме того, гидродистилляционным методом из хвои было отогнано эфирное масло, по соотношению фракций которого производилось отнесение пробных площадок древесных насаждений к четырем типам деградации в зависимости от уровня антропогенной нагрузки. Выводы, сделанные в ходе проведения исследований разными биоиндикационными методами, совпадают, что указывает на эффективность применения любого из использованных методов при проведении мониторинга состояния окружающей среды.*

**Ключевые слова:** загрязнение воздушной среды, биоиндикационные методы, визуальные наблюдения, пигментная система, эфирное масло.

## Bio-indicator assessment of air pollution in Krasnoyarsk

R.A. Stepen'<sup>а</sup>, O.A. Esiakova<sup>б</sup>

Siberian State Technological University, 82 Mira Av., Krasnoyarsk, Russia

<sup>а</sup>www.sibstu.kts.ru, <sup>б</sup>Olga-LA83@mail.ru

Received 16.09.2013, accepted 19.11.2013

*The development of industrial and power facilities and increase in the fleet of cars in cities promotes environment degradation and deterioration of people's health. Industrial enterprises emit a huge number of dangerous pollutants, including carcinogens that results in increase in the number of oncological diseases among citizens. The results of standard methods to determine the air pollution index don't often reflect the real qualitative and quantitative content of the polluting substances. To obtain the adequate and more complete information on the ecological state of the social facility territories, it has been proposed to use the bio-indicator methods. The article reveals the materials to assess the effect level of the aerogenic pollution by the response of coniferous plantings of *Pinus silvestris* L. and *Picea obovata*, which are widely used in urban landscape gardening. As part of the study, the morphometric measurements of needles length, volumetric determination of their volume have been carried out, the changes in humidity and pigmental system of the assimilatory apparatus have been analyzed. Besides, essential oil has been driven off the needles by means of the hydrodistillation method. According to its fraction ratio, the plantings sample plots were referred to four types of degradation depending on the level of human-induced impact. The conclusions drawn during the investigation by means of different bio-indicator methods are identical and this is indicative of the efficiency to apply any of the used methods when carrying out the environment state monitoring.*

**Keywords:** air pollution, bio-indicator methods, visual observations, pigmental system, essential oil.

**Введение.** Промышленное развитие превращает аэрогенное загрязнение в грозный источник деградации природной среды и ухудшения здоровья человека. В первую очередь это относится к населению крупных городов с их мощным промышленно-энергетическим хозяйством и многочисленным автомобильным парком [1]. К ним относится Красноярск – город-миллионник, на территории которого размещаются четыре крупней-

ших промышленных комплекса Красноярского края. Ими выбрасывается огромное количество вредных, в том числе канцерогенных веществ [2]. Увеличение их массы коррелирует с непрерывным ростом числа заболеваний. Информация о составе и содержании загрязнителей позволит своевременно принять меры по оздоровлению среды. Вместе с тем, применение одних стандартных физико-химических методов, фиксирующих

вклад 4-5 наиболее значимых загрязнителей (ИЗА<sub>5</sub>), не решает вопроса. Возможно, что в их число лишь частично входят наносящие вред соединения. Кроме того, для анализа нужно дорогостоящее оборудование, а также большее количество постов наблюдений для отбора проб. Возможно получение такой информации дешевыми, не требующими высокой квалификации работников биоиндикационными методами. Они позволяют анализировать экологическую ситуацию на территории детских садов, школ, других социальных учреждений.

Целью проводимых исследований является сравнение оценки загрязнения воздушной среды г. Красноярска, полученной разными биоиндикационными методами.

**Методы исследования.** В качестве биоиндикаторов выбраны ель сибирская и сосна обыкновенная как наиболее чувствительные и повсеместно распространенные в сибирских городах породы. При проведении исследований происходящие под воздействием аэрогенных загрязнений отклонения анализировали визуально и другими биоиндикационными методами. Рабочими служили участки с 20-25-летними деревьями сосны и ели, произрастающими на территории со слабо- (в середине массива в Академгородке), средне- (центр, парк им. Горького) и сильнозагрязненной (прилегающая к магистрали часть Гвардейского парка) воздушной средой.

**Результаты и их обсуждение.** Обусловленные разным по интенсивности аэрогенным воздействием отклонения в развитии деревьев сравниваемых участков отчетливо видны уже при визуальном обследовании. При этом они не зависят от породы, поскольку их динамика практически одинакова для ели и сосны.

С ухудшением экологических условий уменьшаются высота и диаметр деревьев, возрастает искривленность стволов и побегов, сухостершинность, снижается симметричность крон и их охвоенность. Их высота на участках в Гвардейском, Центральном парках и в Академгородке относится соответственно как 1,00:1,13:1,29,

диаметр – 1,00:1,18:1,34. Если в массиве Академгородка сухостершинность почти отсутствует, то в Гвардейском парке составляет 9-14 %.

Об экологическом благополучии атмосферы Академгородка свидетельствует значение индекса жизненного состояния сосны. Если здесь величина, рассчитанная по численной структуре деревьев [3], равна 0,95, то в Гвардейском парке – 0,83. Согласно этим данным, деревья Академгородка относятся к здоровым, Гвардейского парка – к поврежденным. Такое представление подтверждается возрастом хвои на сравниваемых участках. В Академгородке срок жизни хвои 4-5, Центральном парке – 3, редко 4, в Гвардейском парке – 2-3 года. При этом количество хвои первых двух лет жизни во всех древостоях одинаково даже с тенденцией превышения в случае древостоев с загрязненной атмосферой.

Экспрессная, не вызывающая сомнения по ранжируемости оценка получается при визуальном обследовании цвета хвои ели и сосны, который по мере загрязнения превращается из темно-зеленого в светло-зеленый. Полученные данные наблюдений убедительно свидетельствуют, что визуальный анализ городских участков сосны и ели может успешно использоваться для первоначальной оценки экологического состояния воздушной среды даже небольших по размеру зон, что важно в социальных и мониторинговых целях.

Исследование ассимиляционного аппарата сосны и ели морфометрическими, гравиметрическими и биохимическими методами позволяет оценивать состояние атмосферы. Исходя из тесной связи развития растений с загрязнением воздушной среды и возможностей разработанных методик, более успешными из морфометрических методов для мониторинга следует считать линейное измерение длины и волюмометрическое определение объема хвои [4]. Средняя длина хвои 1, 2 и 3 годов жизни сосны исследуемых участков приведена в табл. 1.

Таблица 1

Влияние аэрогенного загрязнения на длину хвои сосны, см

Год жизни хвои и показатели	Загрязнение		
	<i>слабое – Академгородок</i>	<i>среднее – Центральный</i>	<i>сильное – Гвардейский парк</i>
1	5,15 ± 0,09	4,82 ± 0,10	4,55 ± 0,09
2	5,59 ± 0,06	5,14 ± 0,11	4,70 ± 0,12
3	6,41 ± 0,06	5,52 ± 0,14	4,93 ± 0,14
$\bar{x} \pm m$	5,75 ± 0,08	5,18 ± 0,12	4,17 ± 0,11
V, %	11,5	7,47	4,10

Сравнение данных показывает, что при ежегодном нарастании длины хвои ее среднее значение снижается при ухудшении качества атмосферы [4]. В этом же направлении, исходя из коэффициентов варьирования, происходит усреднение длины хвои на побегах. Подобные результаты получены и при морфометрическом анализе хвои ели сибирской [4].

Объем хвои, найденный волюмометрическим путем [5], по объему вытесненной помещаемой в воду хвои, также сокращается при усилении загрязнения воздушной

среды. При трехкратном измерении 100 шт. усредненной хвои сосны каждого из участков ее объем найден равным соответственно  $0,0454 \pm 0,0031$ ,  $0,0421 \pm 0,0026$  и  $0,0392 \pm 0,0032$  см<sup>3</sup>.

Объективным индикатором загрязнения служит и влажность хвои, поскольку потеря воды ведет к деструкции мембран клеток [6]. Результаты определения влажности хвои сосны обыкновенной, отобранной с исследуемых участков, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значение влажности хвои ели сибирской, произрастающей на участках с разным уровнем антропогенной нагрузки

Исследуемый участок	Влажность хвои по годам ее жизни, % от абс. сух. массы			
	1-й год	2-й год	3-й год	среднее
Гвардейский парк	43,6600 ± 0,0011	42,9500 ± 0,0216	42,1391 ± 0,0355	42,9163 ± 0,0194
Центральный парк	52,0775 ± 0,0079	50,7925 ± 0,0074	48,2350 ± 0,0368	50,3683 ± 0,0174
Академгородок	55,7575 ± 0,0073	55,5275 ± 0,0343	54,2075 ± 0,0409	55,1642 ± 0,0275

Характер ее изменчивости у сосны и ели одинаков. Значение влажности уменьшается как с ухудшением экологической обстановки, так и по мере старения хвои, в связи с затуханием активности метаболизма. При этом различия в последнем случае могут быть еще выше, чем в первом. Исходя из этого, важно анализировать хвою одного года жизни с одного уровня кроны.

С учетом этого содержание влаги в хвое служит убедительным и объективным маркером экологической нагрузки участка.

Изменение цвета хвои на участках с разным загрязнением атмосферы указывает на различие пигментной системы. Анализ ее структуры и содержания позволяет количественно оценить последствия такого различия (табл. 3).

Таблица 3

Состав и содержание (мкг/г а.с.м.) пигментов сосны городских участков с разным уровнем аэрогенного загрязнения

Участок	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Отношение хлорофиллов a/b	Сумма хлорофиллов a+b	Каротиноиды к	Отношение видов пигментов (a+b)/к
Академ-городок	897	375	2,39	1272	368	3,46
Центральный парк	822	311	2,64	1133	342	3,31
Гвардейский парк	754	236	3,20	990	317	3,12

Усиление загрязнения воздушной среды ведет к снижению содержания всех пигментов, особенно хлорофилла b, что связывается с его защитной функцией [6]. Нагляднее это видно при сопоставлении изменяющейся величины пигментов в хвое исследуемых участков: нарастания соотношения хлорофиллов а к b и снижения отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам. Подобные сведения приводятся и по сосновым лесам Прибайкалья [7]. По-видимому, основной причиной происходящего разрушения пигментов является взаимодействие возрастающего количества реакционноспособных примесей воздуха с

порфириновой системой хлорофиллов и конъюгированными связями каротиноидов.

Эфирное масло также может служить эффективным биоиндикатором загрязнения атмосферы. При проведении разграничения по зонам воздействия поллютантов оперировали суммарными вкладами компонентов легкой (монотерпеновой) и тяжелой (кислородсодержащей моно- и сесквитерпеноидной) фракций эфирного масла. Усредненные данные хроматографического анализа масла хвои участков с разной экологической напряженностью представлены в табл. 4.

Таблица 4

Изменчивость соотношения фракций эфирного масла хвои в зависимости от загрязнения среды

Возраст хвои, лет	Фракция		Фракция	
	легкая (Л)	тяжелая (Т)	легкая (Л)	тяжелая (Т)
	Незагрязненные, лесные		Среднезагрязненные, Центральный парк	
1	58,5	41,5	49	51
2	63,5	36,5	51,3	48,7
3	65,1	34,9	44,4	55,6
среднее	62,4	37,6	48,2	51,8
Л/Т	1,66		0,93	
	Слабозагрязненные, Академгородок		Сильнозагрязненные, Гвардейский парк	
1	51,4	48,6	50,4	49,6
2	58,3	41,7	44,5	55,5
3	56,2	43,8	40,1	59,9
среднее	55,3	44,7	45,0	55,0
Л/Т	1,24		0,82	

В соответствии с общим положением активность метаболизма в ассимиляционном аппарате при загрязнении воздуха как неблагоприятного фактора в целом снижается, но усиливается образование защитных веществ, в том числе терпеноидов. Одновременно активируются окислительные и полимеризационные процессы, что снижает содержание этих веществ. Поэтому при слабом загрязнении вклад терпеноидов в хвое городских участков несколько возрастает, а после преодоления защитного барьера начинает убывать.

С учетом этого вклад эфирного масла характеризует в большей степени состояние развития дерева, и в меньшей – экологическую обстановку. Успешно использование для этой цели его состава, превращение компонентов которого пропорционально концентрации поллютантов в воздушной среде. Исходя из этого представления, таким показателем может служить отношение монотерпеновых углеводов к остальным, более труднолетучим компонентам масла, во фракцию которых по мере окисления и других превращений под действием примесей переходят первые.

#### **Выводы**

В соответствии с развиваемыми представлениями об окислительных и поликонденсационных превращениях терпеноидов под влиянием находящихся в воздухе антропогенных реакционноспособных соединений нами [4] разработана биоиндикационная оценка состояния атмосферы по составу эфирного масла хвои ели сибирской. Результаты исследований указывают на наличие четырех типов насаждений ели сибирской, формирование которых обусловлено воздействием разной по интенсивности эмиссии. К первому типу относятся лесные древостои, в масле усредненной хвои которых отношение этих фракций составляет 1,66, находящихся под слабым воздействием – 1,10, средним – 0,90 и сильным – 0,70 [4].

Данные проведенных исследований свидетельствуют о соответствии результатов анализа аэрогенного загрязнения, полученных посредством разных биоиндикационных методов, что указывает на эффективность их применения. Благодаря этому создаются возможности оценки экологического состояния любых

социальных объектов и дополнения показателя ИЗА<sub>5</sub>, что позволяет учитывать весь спектр находящихся в атмосфере соединений.

#### *Литература*

1. Фрумин Г.Т. Загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах России и риск здоровью // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 73-77.
2. Ревич Б.А. Загрязнение среды и здоровье населения: моногр. М.: Изд-во МПЭПУ, 2007. 224 с.
3. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1999. № 4. С. 51-57.
4. Есякова О.А., Степень Р.А. Зонирование загрязнения атмосферы г. Красноярска биоиндикационными методами: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2011. 124 с.
5. Степень Р.А., Есякова О.А., Амбарцумян О.Н., Мартоник Е.В. Прибор для измерения объема хвои: пат. на полезную модель 89222 Рос. Федерация. Заявл. 29.06.09; N 2009124953/22; опубл. 27.11.09, Бул. № 33. 2 с.
6. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных систем методом фитоиндикации: моногр. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
7. Игнатьева О.В. Элементный состав хвои и морфофизиологические показатели сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2005. 18 с.

#### *References*

1. Frumin G.T. Air pollution in Russia's cities and health risks // *Ekologicheskaya khimiya*. 2002. № 11 (2). S. 73-77.
2. Revich V.A. Environmental pollution and population's health status: monogr. M.: Izd-vo MPEPU, 2007. 224 s.
3. Alexeev V.A. Diagnosis of the trees and tree stands life condition// *Lesovedeniye*. 1999. № 4. S. 51-57.
4. Esyakova O.A., Stepen' R.A. The air pollution zoning in Krasnoyarsk by means of bioindicator methods: monogr. Krasnoyarsk: SibGTU, 2011. 124 s.
5. Stepen' R.A., Esyakova O.A., Ambartsumyan O.N., Martonik E.V. The device to measure needles volume: pat. na poleznuyu model' 89222 Ros. Federatsiya. Zayavl. 29.06.09; № 2009124953/22; opubl. 27.11.09, Byul. № 33. 2 s.
6. Nikolaevsky V.S. Ecological assessment of the environmental pollution and the earth-based systems state by the phytoindication method: monogr. Pushkino: Izd-vo VNIILM, 2002. 220 s.
7. Ignat'yeva O.V. The composition of elements in needles and *Pinus silvestris* L. morpho-physiological indices under the man-induced pollution: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk, 2005. 18