

УДК 581.5(571.51)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ЕЛИ СИБИРСКОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН Г. КРАСНОЯРСКА

Коротченко И.С.

*ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»,  
Красноярск, e-mail: kisaspi@mail.ru*

Проведен анализ взаимосвязи загрязнения атмосферного воздуха и состояния ассимиляционного аппарата ели сибирской. Изучались следующие показатели: морфометрические параметры хвои и побега второго года жизни (длина, масса), концентрации хлорофиллов а, b, каротиноидов. При оценке влияния антропогенного загрязнения воздуха на размеры и массу хвои выявлено, что наибольшая длина побега второго года жизни и наибольшая длина хвои наблюдается на контрольной площадке – Ветлужанке, в парках Горького и Гагарина – заметное снижение интенсивности роста побегов и хвои. Прирост побега в условиях второй и третьей пробных площадок относительно контроля снизился на 20,36 и 21,56% соответственно. Длина хвоек относительно контроля также уменьшилась в условиях второй площадки – на 11,56%, и третьей – 19,1%. На данных пробных площадках вес хвои относительно контроля уменьшился на 30 и 28% соответственно. Обнаружено также, что варьирование содержания пигментов хвои существенно зависит от интенсивности загрязнения воздушной среды участка. На основании ранжирования объектов по изученным показателям составлена карта-схема исследуемых рекреационных зон г. Красноярск: 1. Парк им. Гагарина – наиболее загрязненная территория, степень его аэрогенного загрязнения сильная; 2. Парк им. Горького – со средней степенью загрязнения атмосферы; 3. Ветлужанка – слабая степень загрязнения атмосферы.

**Ключевые слова:** ассимиляционный аппарат, содержание хлорофиллов и каротиноидов, ель сибирская, загрязнение среды, биоиндикация, город

## USE OF THE ASSIMILATORY DEVICE SIBERIAN SPRUCE FOR THE ASSESSMENT OF THE CONDITION RECREATIONAL ZONES OF CITY KRASNOYARSK

Korotchenko I.S.

*FSBEI HPE «Krasnoyarsk State Agrarian University», Krasnoyarsk, e-mail: kisaspi@mail.ru*

We have done the analysis of the relationship of air pollution and the state of assimilation apparatus of Siberian spruce. The following parameters were studied: the morphometric parameters of needles and the flight of the second year of life (length, weight), the concentration of chlorophyll a, b, carotenoids. In assessing the impact of anthropogenic pollution on the size and weight of needles revealed that the maximum length of the escape of the second year of life, and the maximum length of the needles observed in the control area – Vetluzhanka in Gorky Park and Gagarin marked decrease in the intensity of growth of shoots and needles. The growth of escape in the second and third test plots on control decreased by 20,36 and 21,56%, respectively. The length of the needles relative to controls also decreased in the second platform – at 11,56%, and the third – 19,1%. On these test areas, the weight of the needles relative to the control decreased by 30 and 28%, respectively. It was also found that varying the needles substantially pigment content depends on the amount of air pollution site. Based on the ranking of sites on the studied parameters drawn schematic map of the studied recreational areas of Krasnoyarsk: 1. Park named Gagarin – the most contaminated areas, the degree of air pollution strong 2. Park named Gorky – with an average degree of air pollution 3. Vetluzhanka – low degree of air pollution.

**Keywords:** assimilation apparatus, the content of of chlorophylls and carotenoids, Siberian spruce, pollution of the environment, bioindication, city

Город Красноярск относится к крупнейшим центрам металлургической и лесохимической промышленности, а также теплоэнергетики. На его территории находятся такие предприятия, как КрАЗ – источник выбросов в атмосферу фтористого водорода, смолистых веществ, бенз(а)пирена, пыли и три мощные тепловые электростанции (работающие на каменном угле и относящиеся к 10 основным загрязнителям атмосферы Красноярского края), загрязняющие воздух оксидами азота, сажей, сернистым ангидридом, оксидами углерода, бенз(а)пиреном, пылью. Здесь также расположены Енисейский ЦБК, выбрасывающий в воздушную среду большие объемы вредных сернистых соединений [8].

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2011 г», на основании представленных субъектами РФ данных был составлен перечень 100 самых загрязненных городов с численностью населения 100 тыс. и более человек. В указанном списке г. Красноярск занял третье место по комплексному индексу загрязнения атмосферы (ИЗА-5 – 23,8). До этого г. Красноярск в течение ряда лет Росгидрометом РФ включался в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы, в котором города представлялись в алфавитном порядке.

По данным территориального Центра по мониторингу загрязнения окружающей

среды Среднесибирского УГМС в 2012 году приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха в г. Красноярске были бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота, аммиак. Уровень загрязнения атмосферы характеризовался как «очень высокий» – ИЗА-5 составил 22,93.

Безусловно, загрязнение атмосферы самым серьезным образом сказывается на здоровье населения. Оно проявляется преимущественно в виде патологических эффектов. Достаточно часто такие воздействия инициируют различные болезни. Согласно статистическим сведениям до трети общего числа аэрогенных загрязнений способствуют ухудшению функционирования сердечно-сосудистой системы [3].

Согласно розе ветров, в Красноярске преобладают юго-западные ветры, в связи с чем максимальные нагрузки должны наблюдаться в жилых массивах, расположенных с подветренной стороны промышленных предприятий, выбрасывающих большие объемы вредных веществ. Мощному неблагоприятному воздействию выбросов автотранспорта подвержено все население Красноярска, особенно в зоне крупных магистралей: пр. им. газ. Красноярский рабочий и Металлургов, улиц Матросова, п. Железняк, Сурикова и др. Таким зонам уделяют повышенное внимание.

Следует отметить, что негативные условия в разных районах города обуславливаются присутствием в атмосфере большого количества различных по природе загрязнителей. Действие такой смеси весьма сложно оценить аналитическими методами. Серьезным дополнением им могут служить результаты биоиндикационных методов. Результаты исследования хвои позволяют достаточно объективно оценивать аэрогенную нагрузку рекреационных зон г. Красноярска.

**Цель исследования** – оценка экологического состояния воздушной среды рекреационных зон г. Красноярска по морфологическим и химическим показателям хвои ели сибирской.

#### **Материал и методы исследования**

В качестве *объекта* исследования для оценки состояния воздушной среды г. Красноярска взята ель сибирская (*Picea obovata Ledeb.*). Ее важными достоинствами служат повсеместная распространенность на территории города и высокая чувствительность к поллютантам.

При проведении исследований в качестве основного анализируемого элемента использовали ассимиляционный аппарат ели сибирской. Изучение структуры и состава хвои обусловлено тем, что в организм через нее проникает основная масса загрязнителей, в связи с чем в первую очередь в ее тканях проявляются вызванные поллютантами изменения [4].

В качестве рабочих объектов в разных районах г. Красноярска выбрано три участка ели сибирской, произрастающих в рекреационных зонах разных районов города.

Характеристика исследуемых территорий: площадка № 1 – Октябрьский район, микрорайон Ветлужанка. Площадь насаждений составляет более 200 м<sup>2</sup>. Возраст деревьев 30 лет. Диаметр ствола 8 см. Общее состояние древостоя: форма кроны правильная, хорошо развитая, побеги хорошо охвоены, темно-зеленый цвет хвои, условия близки к фоновым. Район считается экологически чистым, поэтому взят за контроль. Площадка № 2 – Центральный район, ул. Карла Маркса, Центральный парк им. Горького. Площадь насаждений составляет 150 м<sup>2</sup>. Возраст деревьев 30 лет. Диаметр ствола 9 см. Общее состояние древостоя: имеются хлорозы, некрозы, наблюдается заметное уменьшение фитомассы хвои, преждевременный ее опад, древостой испытывает влияние автомагистрали. Площадка № 3 – Железнодорожный район, парк им. Гагарина. Площадь насаждений составляет 50 м<sup>2</sup>. Возраст деревьев 30 лет. Диаметр ствола 8 см. Общее состояние древостоя: имеются хлорозы, некрозы, наблюдается уменьшение фитомассы хвои, преждевременный ее опад, древостой испытывает влияние автомагистрали.

Количественное определение хлорофиллов а и b и каротиноидов определяли по изменению оптической плотности вытяжки (экстракта) пигментов на спектрофотометре при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов а (663 нм) и b (645 нм) и максимуму поглощения каротиноидов (440,5 нм), с последующим расчетом концентрации пигментов по уравнениям Ветштейна и Хольма для 100%-го ацетона.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel, SNEDECOR. Обработка включала дисперсионный однофакторный анализ, вариационную статистику, многомерное ранжирование объектов.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

К значительным биоиндикационным методам относятся морфометрические измерения хвои. Дополнительным важным индикатором воздействия поллютантов на древесные растения является биомасса хвои.

В случае городских посадок биомасса хвои на 20–30% легче по сравнению с хвоей фоновых участков. Спецификой ее онтогенетического развития является снижение темпов накопления биомассы. Адекватность уменьшения массы нарастанию напряженности аэрогенного воздействия на участке подтверждает положение, что важной причиной ухудшения биосинтеза в организме является накопление в нем чужеродных компонентов-загрязнителей.

Результаты, полученные в ходе изучения морфометрических параметров хвои и побегов второго года жизни ели сибирской, представлены в таблице.

При анализе собственных результатов исследований выявили, что наибольшая

длина побега второго года жизни и наибольшая длина хвои наблюдается на контрольной площадке – Ветлужанке, в парках Горького и Гагарина – заметное снижение интенсивности роста побегов и хвои. Прирост побега в условиях второй и третьей пробных площадок относительно контроля снизился на 20,36 и 21,56% соответственно. Длина хвоинок относительно контроля также уменьшилась в условиях второй площадки – на 11,56%, и третьей – 19,1%.

Накопление органического вещества хвоей ели сибирской, характеризующее интенсивность фотосинтеза, заметно снизилось у особей, произрастающих в условиях парков Горького и Гагарина. Так, на

данных пробных площадках вес хвои относительно контроля уменьшился на 30 и 28% соответственно. Как видно из результатов исследования, негативное воздействие условий произрастания сильнее сказывается в условиях парка Гагарина, которое в первую очередь влияет на процесс фотосинтеза, в результате чего снижается накопление биомассы хвои. Исследование экологического состояния ели сибирской показало, что под воздействием выбросов автотранспорта происходит снижение интенсивности процесса фотосинтеза, в результате чего уменьшается биомасса хвои, а также угнетаются ростовые процессы побегов.

#### Морфометрические показатели хвои и побега второго года жизни ели сибирской в условиях г. Красноярск

Показатели	Площадки		
	Ветлужанка (контроль)	Парк Горького	Парк Гагарина
Длина хвоинок, см	1,99 ± 0,01	1,76 ± 0,01**	1,61 ± 0,01**
Длина побега второго года жизни, см	24,12 ± 0,06	19,21 ± 0,22**	18,92 ± 0,05**
Масса 50 штук хвоинок, г	0,50 ± 0,02	0,35 ± 0,01**	0,36 ± 0,01**

Примечания (здесь и далее): \*\* – значения достоверны при  $P \leq 0,01$ ; \* – значения достоверны при  $P \leq 0,05$ .

При изучении загрязнения атмосферы г. Красноярск посредством биохимических биоиндикационных методов анализировали изменение содержания в ассимиляционном аппарате ели сибирской хлорофилла *a* и *b* и каротиноидов. Достоверное наибольшее содержание хлорофилла *a* наблюдается в Ветлужанке – 38,54 мг/100 г сырой массы, в парке Горького – 37,19 мг/100 г, а в парке Гагарина концентрация хлорофилла *a* самая низкая – 29,86 мг/100 г сырой массы.

Концентрация хлорофилла *b* и каротиноидов в хвое ели сибирской относительно контроля (Ветлужанка) также максимально снизилась в Парке Гагарина – на 11,8 и 13,1% соответственно.

Действие аэрогенного загрязнения на растения, помимо снижения общей суммы пигментов, проявляется и в форме изменения соотношения пигментов в хвое. Так, в хвое ели сибирской в парках Горького и Гагарина соотношение «хлорофилл *a*: хлорофилл *b*» уменьшилось по сравнению с контролем в 1,55 и 1,87 раза соответственно. Очевидно, что в присутствии загрязнителей в окружающей среде у хвои растений на данных участках снизилось соотношение форм хлорофилла *a* к *b*, что свидетельствует или о том, что переход хлорофилла из формы *a* в форму *b* ускорялся под

влиянием поллютантов, или заметно усиливался процесс распада хлорофилла *a*.

В работах других исследователей экспериментально также установлено, что при обработке многими загрязнителями в вегетативных органах в связи с деградацией фотосинтетической структуры снижается содержание хлорофиллов и каротиноидов. Причем они преимущественно касаются хлорофилла *b*. Превышение его распада означает, что в хлоропластах сокращается число светособирающих комплексов, которым принадлежит важная роль в фотосинтезе. Установлено, что усиление нагрузки ведет к снижению размеров хлоропластов, ухудшению развития системы гран и тилакоидов в хвое. Изменения в пигментном комплексе, снижающие фотосинтетическую активность, уменьшают накопление ассимилянтов и, как результат, рост и развитие растений [1, 5, 6].

Ранжирование объектов по совокупности показателей позволило выделить рекреационные зоны различной степени загрязненности. Наиболее загрязненной исследуемой территорией является парк им. Гагарина, степень его аэрогенного загрязнения – сильная, далее со средней степенью загрязнения атмосферы следует парк им. Горького, и слабая степень загрязнения

атмосферы наблюдается у контрольной площадки – Ветлужанка.

### Выводы

1. Изучено влияние антропогенного загрязнения воздуха на размеры и массу хвои: наибольшая длина побега второго года жизни и наибольшая длина хвои наблюдаются на контрольной площадке – Ветлужанке, в парках Горького и Гагарина – заметное снижение интенсивности роста побегов и хвои.

2. Найдено, что варьирование содержания пигментов хвои существенно зависит от интенсивности загрязнения воздушной среды участка.

3. Показано, что значимыми показателями состояния растений является не только содержание хлорофиллов и каротиноидов ассимиляционного аппарата, но и соотношение хлорофиллов *a* и *b*.

4. Составлена карта-схема изученных рекреационных зон г. Красноярска: наиболее загрязненной исследуемой территорией является парк им. Гагарина, степень его аэрогенного загрязнения – сильная, далее со средней степенью загрязнения атмосферы следует парк им. Горького, и слабая степень загрязнения атмосферы наблюдается у контрольной площадки – Ветлужанка.

Таким образом, доказано статистически, что биоиндикационная оценка состоянием растений, обусловленного загрязнением атмосферы, соответствует результатам. Продолжительность эффективного использования еловых насаждений в оздоровительных и эстетических целях существенно зависит от интенсивности загрязнения атмосферы.

### Список литературы

1. Воротова М.Г. Изучение воздействия техногенной среды г. Красноярска на биометрические показатели ели сибирской / М.Г. Воротова, И.С. Коротченко // *Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы.* – Новосибирск, 2013. – С. 83–85.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1392> (дата обращения: 04.02.13).

3. Званцев В.А. Динамика загрязнения природной среды Красноярского края, мероприятия по его снижению, последствия / В.А. Званцев, А.И. Лобанов, Р.А. Степень. – Красноярск: КНИИГиМС, 2002. – 72с.

4. Иванова Ю.Д. Распределение антропогенного загрязнения среды в г. Красноярске / Ю.Д. Иванова [и др.] // *Инженерная экология.* – 2001. – № 3. – С. 20–24.

5. Коротченко И.С. Флуктуирующая асимметрия хвои *Picea obovata* Ledeb как биоиндикатор состояния урбанизированной среды // *Проблемы современной аграрной науки.* – Красноярск, 2012. – С. 62–63.

6. Неверова О.А. Химический состав хвои ели сибирской в условиях техногенного загрязнения г. Кемерово // *Сибирский экологический журнал.* – 2002. – № 1. – С. 59–65.

7. Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.krasnoyarsk.ru> (дата обращения: 04.02.13).

8. Устинова Г.Ф. Об экологической обстановке в Красноярском крае // *Проблема использования и охрана природных ресурсов Центральной Сибири.* – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – С. 243–247.

### References

1. Vorotov M.G., Korochenko I.S. The study of the impact of man-made environment of Krasnoyarsk on biometrics Siberian spruce. *Agricultural science, education, and production: current issues.* Novosibirsk, 2013, pp. 83–85.

2. State report «On the state and Environmental Protection of the Russian Federation in 2011» [electronic resource]. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1392> (date accessed: 04.02.13).

3. Zvantsev V.A., Lobanov A., Stepen R.A. Dynamics of Environmental Pollution of the Krasnoyarsk Territory, abatement, the consequences. *Krasnoyarsk, KNIIGiMS, 2002.* 72 p.

4. Ivanov Y.D., Distribution of anthropogenic pollution in the city of Krasnoyarsk. *Engineering environment, 2001, no. 3,* pp. 20–24.

5. Korochenko I.S. Fluctuating asymmetry of needles *Picea obovata* Ledeb as bioindicators of urban environment. *Problems of modern agricultural science.* Krasnoyarsk, 2012. pp. 62–63.

6. Neverova O.A., The chemical composition of spruce needles in the Siberian city of Kemerovo industrial pollution. *Siberian Journal of Ecology, 2002, no. 1,* pp. 59–65.

7. The official website of the Federal State Organization «Central Siberian Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring» [electronic resource]. Available at: <http://meteo.krasnoyarsk.ru> (date accessed: 04.02.13).

8. Ustinov G.F. About the environmental situation in the Krasnoyarsk Territory. The problem of the use and protection of natural resources in Central Siberia. *Atlanta, KNIIGiMS, 2001,* pp. 243–247.

### Рецензенты:

Кириенко Н.Н., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой экологии и естествознания института агроэкологических технологий, ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск;

Ефремов А.А., д.х.н., профессор, заведующий лабораторией хроматографических методов анализа ЦКП, ФГБОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.