

УДК 581.5

**РАЗВИТИЕ НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA* LEDEB.)  
В УСЛОВИЯХ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
(УФИМСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТР)**

© 2011 Г.А. Зайцев<sup>1</sup>, Д.В. Скотников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

<sup>2</sup> Филиал ФГУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Башкортостан», г. Уфа

Поступила 07.07.2011

Рассмотрены особенности роста и развития надземных органов ели сибирской в условиях углеводородного загрязнения. В условиях загрязнения отмечается уменьшение длины побегов с одновременным увеличением длины хвои ели сибирской.

**Ключевые слова:** ель сибирская, побеги, хвоя, углеводородное загрязнение, адаптация.

Проблема создания устойчивых древесных насаждений в крупных промышленных центрах (одним из которых является Уфимский), выполняющих роль фитофильтра, в настоящее время остается актуальной. Древесные растения благотворно влияют на все компоненты экосистемы, что ведет к созданию более благоприятных условий для здоровья и жизнедеятельности людей. Функция фитофильтра осуществляется за счет поглощения значительной части газообразных загрязняющих веществ из воздуха, но превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе действует угнетающе на рост и возобновление лесных насаждений [3].

В связи с этим при создании устойчивого фитофильтра за основу должен быть взят принцип правильного подбора видов деревьев.

Было замечено, что растения, являющиеся более газоустойчивыми, более устойчивы к естественным стрессовым факторам, в связи с чем была выдвинута теория преадаптации. Хорошая корреляция проявляется в отношении с засухоустойчивыми растениями [5]. Фитофильтр функционирует при соблюдении двух условий: древесные виды, входящие в его состав, должны сохранять в техногенных условиях без изменений способность к росту и способность к возобновлению естественным путем. Фитофильтр характеризуется годичной ритмикой периодичности в поглощении и способностью к самоочистке растений за счет ежегодного листопада.

Заметим, что листопадные культуры избавляются от загрязняющих веществ быстрее, нежели вечнозеленые, «консервирующие» в хвое токсиканты на несколько лет. С возрастом происходит увеличение объема поглощения фитофильтра в силу увеличения биомассы. Растения, входящие в состав фитофильтра, характеризуются повышенной чувствительностью к внешним факторам и ограниченным запасом прочности, а также способностью к

«автоматическому ремонту» за счет регенерации поврежденных органов [2].

Несмотря на то, что некоторыми авторами указывается меньшая газоустойчивость хвойных пород по сравнению с лиственными [7], введение хвойных не листопадных видов в состав санитарно-защитных лесонасаждений имеет важное преимущество – возможность использования промышленного фитофильтра круглый год. За счет большей площади ассимилирующей поверхности, постоянной в течение всего года, еловые леса обладают лучшей способностью задерживать аэрозольные токсиканты.

Загрязнение воздушной среды влияет на надземную часть ряда хвойных пород деревьев следующим образом: снижается прирост боковых побегов, уменьшается средняя длина хвои и ее масса, усиливается опад хвои. Происходит значительное снижение количества хлорофилла в хвое при увеличении загрязнения. Данные тенденции характерны для всех возрастов хвои у всех видов семейства *Pinaceae*. Замечено, что данные тенденции выражены сильнее у ели сибирской и сосны обыкновенной [5].

Согласно Государственному докладу [4], в Уфимском промышленном центре преобладает углеводородное промышленное загрязнение с преимущественным содержанием в составе выбросов смесей предельных и непредельных углеводородов с участием окиси углерода, окислов азота, сероводорода, сернистого газа и ряда других соединений. Индекс загрязнения атмосферы г. Уфы определяется высокой концентрацией формальдегида и бенз(а)пирена. Было установлено, что углеводородное загрязнение оказывает значительное влияние на анатомическое строение листьев (хвои), в частности, на состояние устьичного аппарата листьев деревьев. Наблюдалось увеличение числа устьиц на 1 мм<sup>2</sup> листа с интенсификацией загазованности воздуха [6].

Цель данной работы – изучение особенностей развития надземных органов ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях углеводородного типа загрязнения окружающей среды.

Зайцев Глеб Анатольевич, докт. биол. наук, e-mail: smu@anrb.ru, Скотников Дмитрий Валерьевич, канд. биол. наук, e-mail: forestry@mail.ru

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Было заложено 3 пробных площади на различной отдаленности от нефтехимических предприятий Уфимского промышленного центра (УПЦ): первая – возле поселка Тимашево (зона сильного загрязнения), вторая – рядом со станцией «Шугуровка» (зона среднего загрязнения), третья – у поселке Авдон (зона относительного контроля). Возраст деревьев – 20-40 лет (насаждения одного класса возраста). Во всех случаях имели место относительно чистые посадки ели без примеси иных пород с составом древостоя 10Е. Измерение высоты деревьев проводилось с помощью высотометра, измерение диаметров стволов деревьев – мерной вилкой на уровне груди (1,3 м от шейки корня). Оценка относительного жизненного состояния насаждений (ОЖС) ели сибирской проводилась по методике В.А. Алексеева с соавт. [1].

Насаждения ели сибирской в условиях нефтехимического загрязнения в зонах сильного и среднего углеводородного загрязнения характеризуются как «ослабленные» ( $L_v = 68-71,5\%$ ), в условиях относительного контроля – как «здоровые» ( $L_v = 96\%$ ). В условиях промышленного загрязнения данного типа деревья ели сибирской имеют плохо сформированную крону, густота которой снижена приблизительно на 30% от нормы. Стволы деревьев плохо очищаются от мертвых сучьев, заметны повреждения хвои (хлорозы, некрозы). В насаждениях появляется сухостой и отмирающие деревья, хотя доля их незначительна (до 20% от общего количества стволов). В контроле ель имеет хорошо сформированную крону (сомкнутость – до 1,0), стволы хорошо очищаются от мертвых сучьев и отсутствуют видимые поражения хвои.

Отбор образцов для исследования ассимиляционного аппарата производился 3 раза за вегетационный период (июнь, июль и август). Определение длины побегов и хвои ели сибирской на каждой пробной площади проводилось на 5-10 деревьях на 15-30 модельных ветвях. Измерения проводили с помощью штангенциркуля с точностью до 0,01 см.

Для определения массы хвои ели с 50-и собранных ветвей каждого из трех возрастов с каждой пробной площади производили отбор 100 хвоинок после предварительного их высушивания в термощафе при температуре 60°C в течение 2-х сут. Отсчитывали по 10 образцов из каждого возраста с каждой пробной площади, таким образом, получали 90 образцов за месяц. Образцы взвешивались на лабораторных весах (ВЛТЭ-150) с точностью до 1 мг. Определение возраста деревьев производилось по древесным кернам, отобраным с помощью бурава Mora (Sweden) и Suunto (Finland). Прирост древесины по годичным кольцам определялся в лаборатории по полученным кернам с помощью микроскопа МБС-1 (Россия).

Статистическую обработку проводили с использованием программы Statistica 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция надземной части насаждений ели сибирской на углеводородное загрязнение в УПЦ заключается в уменьшении длины побегов вследствие раннего окончания роста. Средняя длина хвои, в отличие от длины побегов, стабильно увеличивается с возрастом углеводородного загрязнения. Исключением являются показатели средней длины хвои 3-го года жизни в июле, а также 2-го и 3-го года в августе (зона среднего загрязнения).

В июне средняя длина побегов на всех пробных площадях варьирует слабо. Максимальная разница составляет 23% – между побегами в зоне среднего и сильного загрязнения (1-й год). Средняя длина побегов 1-го года жизни максимальна в зоне сильного загрязнения (46,7 мм), минимальна в зоне среднего загрязнения (37,9 мм). Промежуточное положение занимает зона контроля (40,8 мм). В июле длина побегов 1-го года в контроле составляет 58,5 мм, в зоне среднего загрязнения – 48,3 мм. В зоне сильного загрязнения наблюдаются минимальные значения длины побегов. В августе закономерность аналогична июлю. Побеги 1-го года жизни имеют среднюю длину 52,2 мм в контроле, 40,4 мм в зоне среднего загрязнения и 37,2 мм в зоне сильного загрязнения.

При измерении хвои на разном удалении от источника нефтехимического загрязнения установлено, что в июне средняя длина хвои 1-го года жизни максимальна в зоне сильного загрязнения (16 мм), минимальна в зоне контроля (10 мм). Промежуточное положение занимает зона среднего загрязнения (зона среднего загрязнения), где средняя длина хвои составляет 13,1 мм; хвоя 2-го и 3-го года повторяет тенденцию. Замечено, что показатели хвои разных возрастов в зоне среднего и сильного загрязнения отличаются между собой незначительно.

Самые короткие хвоинки июля фиксировались в контроле (1-й год – 12,2 мм, 2-й год – 13,7 мм, 3-й год – 11,9 мм). В зоне среднего загрязнения показатели следующие: 1-й год – 17,2 мм, 2-й год – 17,4 мм, 3-й год – 18,2 мм. В зоне сильного загрязнения наблюдались максимальные значения длины хвои: 1-й год – 18,5 мм, 2-й год – 18,1 мм, 3-й год – 16,2 мм. В августе тенденция аналогична июльским показателям за исключением хвои 2-го и 3-го года жизни из зоны умеренного загрязнения, которая имеет наивысшую длину: 16,1 мм и 14,5 мм соответственно. Хвоя 1-го года имеет среднюю длину 15,4 мм. В зоне сильного загрязнения наблюдается максимальное за август среднее значение длины хвои 1-го года (17,5 мм), хвоя 2-го года жизни имеет среднюю длину 13,9 мм, 3-го – 13,6 мм. В зоне контроля, напротив, наименьшие показатели в длине хвои, а именно: 9,2 мм (1-й год), 10,1 мм (2-й год) и 9,4 мм (3-й год).

В целом, ель сибирская реагирует на углеводородное загрязнение в УПЦ уменьшением длины

побегов с одновременным увеличением длины хвои.

При измерении массы хвои установлено, что масса хвои 1-го года жизни уменьшается с приближением к источнику нефтехимического загрязнения, что особенно заметно в июле (167 мг в контроле; 136 мг в зоне сильного загрязнения) и августе (154 мг в контроле; 97 мг в зоне сильного загрязнения). В зоне умеренного загрязнения (зона среднего загрязнения) наблюдался пик массы хвои 1-го года (июль – 233 мг и август – 160 мг), в июне масса хвои на всех пробных площадях приблизительно одинакова (от 90 до 103 мг/100 хвоинок). Масса хвои 2-го года жизни с приближением к источнику нефтехимического загрязнения несколько возрастает в июне (разница составляет 17%), в июле становится одинаковой в зонах сильного загрязнения и контроля, а в августе уменьшается (разница – 19,6%). В зоне среднего загрязнения масса хвои 2-го года в июне меньше масс на других пробных площадях и составляет 121 мг/100 хвоинок (152 мг – в зоне контроля; 177 мг – в зоне сильного загрязнения). В июле наблюдается пик массы хвои 2-го года жизни в зоне среднего загрязнения, подобный для хвои 1-го года (зона среднего загрязнения) – 273 мг/100 хвоинок (наивысший показатель), что на 82 мг больше, чем в контроле и в зоне сильного загрязнения. Тенденция прослеживается и в августе с меньшим разбросом значений. При сравнении массы хвои 3-го года жизни в зонах сильного загрязнения и контроля выясняется, что достоверных различий не наблюдается на протяжении всего вегетационного периода. В зоне среднего загрязнения наблюдается рост массы хвои по сравнению с другими пробными площадями в течение всего вегетационного периода. В июне масса 100 хвоинок в зоне среднего загрязнения составляет 164 мг, что на 19 мг больше, чем в зоне контроля и на 23 мг больше, чем в зоне сильного загрязнения. В июле 100 хвоинок в зоне среднего загрязнения весят 247 мг, что на 67 мг больше, чем в зоне контроля и на 58 мг больше, чем в зоне сильного загрязнения. И, наконец, в августе масса 100 хвоинок в зоне среднего загрязнения составляет 183 мг, что на 35 мг больше, чем в зоне контроля и на 33 мг больше, чем в зоне сильного загрязнения.

Изучая динамику годового прироста древесины на разных пробных площадях, отметим, что до 1976 г. значения приростов древесины в насаждениях, расположенных на разном удалении от источника нефтехимического загрязнения, варьируют слабо, в пределах от 2,75 до 4,1 мм (средние значения). С 1977 по 1987 гг. наблюдается разница в динамике прироста с пробных площадей, которая заключается в значительном и постоянном превосходстве показаний с пробной площади, расположенной в зоне сильного загрязнения. Максимальное среднее значение прироста составляет 7,4 мм (зона сильного загрязнения, 1986 г.), при этом показатели в зонах среднего загрязнения и контроля

составляют 4 мм. Минимальное значение наблюдается в 1980 г. в зоне среднего загрязнения (1,7 мм). При этом в контроле среднее значение прироста равно 2,5 мм, а в зоне сильного загрязнения – 4,5 мм. За указанные годы разница в средних приростах составляла от 19,8 до 63% между минимальными и максимальными показателями. Замечено, что в разные годы промежуточное положение занимало как показателями из зоны контроля, так и в зоне среднего загрязнения.

С 1987 по 1992 гг. наблюдаются различные значения в интервале от 2,5 до 4,6 мм, причем в разные годы лидируют приросты в зонах среднего и сильного загрязнения, а значения в контроле занимают промежуточное положение и колеблются слабо (от 3 до 3,6 мм). С 1993 г. постоянно лидируют показатели из зоны контроля, а в зоне сильного загрязнения почти постоянно наблюдаются минимальные значения годовых приростов. В зоне среднего загрязнения показатели в основном занимают промежуточное положение. За указанные годы разница в средних приростах составляла от 9,9 до 60,2% между минимальными и максимальными показателями. Максимальное среднее значение прироста составляет 4,7 мм (в контроле, 2000 г.), минимальное – 1,75 мм (зона сильного загрязнения, 1998 г.).

При сравнении возрастной динамики годовых приростов выявляется корреляция показателей, которая заключается в совпадении скачков прироста на разных пробных площадях как в большую, так и в меньшую сторону. Исключением из тенденции являются 4, 6, 8, 11, 16, 23, 24, 27 годы жизни. Среди средних приростов древесины не наблюдается абсолютного первенства на разных пробных площадях, что, по-видимому, свидетельствует о наличии сложной совокупности факторов, влияющих на величину годового прироста. Предполагается, что фактор загрязнения воздуха с преобладанием углеводородной составляющей, не играет ведущей роли в закладке нового слоя древесины.

Увеличение радиуса ствола до достижения 25-летнего возраста происходит быстрее в зоне контроля, у елей старше 25 лет рост ствола в толщину в зонах контроля и сильного загрязнения происходит одинаково, а в зоне среднего загрязнения отстает уже начиная с 7-летнего возраста.

Отмеченные изменения в формировании надземных органов и стволовой древесины ели сибирской в условиях углеводородного загрязнения можно рассматривать как адаптивные реакции данного вида на действие промышленного загрязнения, направленные на обеспечение устойчивого роста и развития деревьев данного вида в экстремальных лесорастительных условиях.

*Работа выполнена при поддержке гранта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (АВЦП МОН РФ ««Развитие научного потенциала высшей школы». Рег. номер: 2.1.1/11330).*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Алексеев В.А.* Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных систем // Лесные системы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С.38-54.
2. *Баталов А.А., Кулагин А.Ю.* Санитарно-защитные функции лесных насаждений и проблемы оптимизации условий сельскохозяйственного производства в промышленных районах Башкортостана // Дендрэкология: техногенез и вопросы лесовосстановления. Уфа: Гилем, 1996. С. 9-23.
3. *Гетко Н.В., Кулагин Ю.З., Яфаев Э.М.* О газопоглощительной способности хвойных // Экология хвойных. Уфа: Изд. БФ АН СССР, 1978. С. 112-131.
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2009 году. Уфа, 2010. 189 с.
5. *Кулагин Ю.З.* Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.
6. *Никитин И.Ю.* Проблема индустриальной дендрэкологии и нефтехимического производства // Дендрэкология, техногенез, вопросы охраны природы. Уфа: Изд. БФ АН СССР, 1987. С. 18-19.
7. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоведение. М.-Л., 1952. 599 с.

**DEVELOPMENT OF ABOVEGROUND ORGANS OF SIBERIAN SPRUCE  
(*PICEA OBOVATA* LEDEB.) UNDER HYDROCARBON POLLUTION CONDITIONS  
(UFA INDUSTRIAL CENTRE)**

© 2011 G.A. Zaitsev<sup>1</sup>, D.V. Skotnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology, Ufa Sci. Centre of RAS, Ufa

<sup>2</sup>Branch of Federal Establishment "Roslesozaschita" "Centre of Forest Protection of Bashkortostan Republic", Ufa

The features of growth and development of aboveground organs of Siberian spruce under conditions of hydrocarbon pollution are considered. Under contamination conditions the reduction of the length of shoots with synchronous lengthening of needle of Siberian spruce is noted.

**Key words:** *Siberian spruce, shoots, needle, hydrocarbon pollution, adaptation.*