

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**В.Т. Ярмишко**

Ботанический институт им. В.Л.Комарова РАН, Санкт-Петербург  
vasily@VY1490.spb.edu

Бореальные леса, выполняющие важнейшие биосферные функции и имеющие большое экономическое значение, на протяжении последних десятилетий испытывают всевозрастающие нагрузки в результате интенсивного хозяйственного освоения, лесных пожаров, инвазии насекомых, загрязнения отходами промышленного производства и др. Перед современной лесной фитоценологией и экологией стоят задачи детального исследования особенностей реакций лесных биогеоценозов на изменение характеристик внешней среды, совершенствования методов изучения их структуры и состояния, а также прогнозирования последствий воздействия на них различных природных и антропогенных факторов.

На Европейском Севере широко распространена лесная растительность с доминированием деревьев, которые в физическом отношении являются самыми крупными и долгоживущими растениями. Для оценки состояния окружающей среды, в частности лесных экосистем, лучших индикаторов, чем сами лесные породы, не существует (Hanish, Kilz, 1990). Лесные фитоценозы характеризуются многими параметрами, набор значений которых отражает любое их состояние, в том числе и нарушенное человеком. В качестве наиболее информативного показателя жизненного состояния как отдельных деревьев, так и древостоев исследуемых лесных экосистем целесообразно принимать интегрированную характеристику состояния крон (Ярмишко, 1997; 2005). Достаточно четкое представление о габитусе кроны и ее важнейших количественных и качественных характеристиках в нормальных условиях, ненарушенных внешними факторами, совершенно необходимо при изучении и оценке состояния деревьев под воздействием природных и антропогенных факторов. Древесные растения по внешнему виду довольно хорошо различаются независимо от влияния на них биотических и абиотических факторов, в достаточной степени определяющих строение крон. Например, у ели европейской отличие от сосны обыкновенной стройная структура кроны сохраняется всю жизнь, несмотря на ее морфологическую изменчивость (Серебряков, 1962; Hanisch, Kilz, 1990; Цветков, Цветков, 2003). В условиях Европейского Севера крона у сосны обыкновенной бывает очень похожа на крону ели лишь в молодом возрасте (Ярмишко, 1997).

В настоящем сообщении мы предлагаем некоторые подходы и методические особенности оценки состояния лесных фитоценозов, подверженных воздействию антропогенных факторов, в частности, влиянию промышленного атмосферного загрязнения в условиях Европейского Севера.

Описываемые методы являются результатом опыта многолетних комплексных исследований, посвященных вопросам изучения структуры и динамики естественных и в разной степени нарушенных под влиянием антропогенных воздействий лесных фитоценозов. В процессе проводимых исследований применялись разнообразные современные методы, существующие в геоботанике, экологии и физиологии, создавались их модификации и разрабатывались новые методы применительно к конкретным объектам и задачам научно-исследовательских работ. При этом мы старались подходить комплексно к решению проблем, стремились получать прежде всего количественную оценку параметров (характеристик) исследуемых объектов – лесных сообществ и составляющих их компонентов. Среди методов изучения растительных сообществ прежде всего использовались основные методики, позволяющие получить фактические данные о наиболее общих, фундаментальных характеристиках различных ярусов лесных фитоценозов и почв в ненарушенных человеком экосистемах. Общей методической особенностью исследований было сравнение полученных характеристик состояния лесов, в разной степени нарушенных антропогенными факторами, с ненарушенными лесами, принятыми нами за эталон (норму).

Работы проводились на постоянных пробных площадях (ППП) в сообществах *Pinus sylvestris* L., относящихся к двум наиболее распространенным на Кольском Севере группам ассоциаций – соснякам лишайниковым и зеленомошным на иллювиально-железистых почвах. Основная часть ППП была расположена в молодых (50–60 лет) сосновых лесах, представляющих различные стадии вторичных сукцессий, другая – заложена в спелых и перестойных сосняках (200–220 и более лет), являющихся зональными эталонами лесов Европейского Севера. Большинство пробных площадей ориентированы по градиенту загрязнения к юго-западу от основного источника эмиссии – комбината по производству цветных металлов. Подробное описание объектов исследований, а также характеристика загрязнения сосновых лесов изложены в нашей более ранней работе (Ярмишко, 1997).

Исследованиями установлено, что в результате длительного хронического воздействия SO<sub>2</sub> с примесью тяжелых металлов (Ni, Co, Cu) на лесные экосистемы претерпевают серьезные изменения практически все элементы внешней и внутренней структуры растений, их химический состав

и процессы жизнедеятельности (Влияние промышленного атмосферного..., 1990). Загрязнение воздуха является основной причиной нарушения у сосны обыкновенной моноподиального роста главной оси и скелетных ветвей более высоких порядков ветвления. Степень нарушения роста крон бывает различная: начиная со случаев повреждения апикальных почек, резкого сокращения прироста побегов до полного прекращения их роста и развития (Ярмишко, 1997; 2005). Частота нарушений моноподиальности в росте главной оси и боковых ветвей усиливается с увеличением концентрации токсических веществ в воздухе, причем у разных особей эти процессы совершаются асинхронно. Прирост центральных и боковых побегов тесно связан с температурными условиями вегетационного сезона предыдущего года ( $r=0.76$ ;  $n=25$ ;  $P<0.05$ ). Рост боковых побегов имеет значимую связь с ростом главной оси ( $r=0.84$ ;  $n=17$ ;  $P<0.05$ ). Под влиянием атмосферных загрязнителей теснота связи линейного прироста побегов с климатическими факторами, в частности, с температурным режимом вегетационного периода, снижается. В условиях сильного загрязнения выявлена значимая отрицательная связь прироста центральных побегов с количеством выбросов твердых загрязняющих веществ ( $r=-0.74$ ,  $n=11$ ,  $P<0.05$ ). Интенсивность линейного и радиального приростов боковых побегов здесь в несколько раз меньше, чем в фоновых условиях.

Важнейшим критерием определения степени воздействия токсических веществ на лесные сообщества является оценка состояния хвои и листьев древесных пород (Торлопова, Робакидзе, 2003). В ненарушенных загрязнением молодых сосновых лесах плотность охвоения побегов (число хвоинок на единицу длины побега) возрастает от вершины к основанию кроны и обратно пропорциональна годичной длине побега. Атмосферное загрязнение подавляет ростовые процессы у деревьев и, как следствие, повышается плотность охвоения побегов. В районах сильного загрязнения лесных сообществ охвоенность побегов сосны выше более чем в 2 раза по сравнению с фоновыми древостоями и остается примерно одинаковой на всем протяжении сохранившихся крон. Наиболее крупная и тяжелая хвоя формируется на вершинах молодых сосен; по мере снижения к основанию крон показатели массы и линейные характеристики хвои заметно уменьшаются. Выявленные закономерности формирования ассимиляционного аппарата в кронах деревьев в фоновых древостоях под воздействием атмосферных загрязнителей постепенно затушевываются. Так, например, в районе сильного загрязнения средняя длина и масса хвоинок в верхней части сохранившихся крон ничем практически не отличаются от этих характеристик в нижней трети крон.

Одной из самых информативных и просто определяемых количественных характеристик состояния сосны обыкновенной на Европейском

Севере является продолжительность жизни хвои. Хвоя сосны тем дольше сохраняется на деревьях, чем ближе они находятся к северному пределу распространения и чем жестче экологические условия для произрастания этой древесной породы. В верхней части кроны продолжительность жизни хвои, как правило, на 1–1.5 года, меньше, чем в нижней. Снижение продолжительности жизни хвои является хорошим индикационным признаком нарушения человеком природных процессов в древостоях сосны обыкновенной. Так, в результате хронического загрязнения воздуха SO<sub>2</sub> с примесью тяжелых металлов (Ni, Си, Со и др.) возраст хвои на деревьях снижается с 6–9 лет в фоновых древостоях до 2–3 лет и даже до 1 года в районах сильного загрязнения окружающей среды.

В фоновых сосновых древостоях заметный опад хвои (20–25%) наблюдается на пятый год ее жизни. Теряют хвою деревья как из господствующей части древостоя, так и из подчиненной. Атмосферное загрязнение является основной причиной наблюдающегося прогрессивного усиления ажурности крон деревьев. Оно происходит в результате повреждения (хлорозы и некрозы) и преждевременного опадения хвои. В районе сильного атмосферного загрязнения опад хвои сосны начинается уже в однолетнем возрасте (40–50%), а двухлетней хвои на деревьях остается не более 10–25%.

Высокий уровень промышленного атмосферного загрязнения является основной причиной структурных преобразований и деградации крон сосны обыкновенной. Форма кроны у молодых деревьев из островершинной конической постепенно превращается в куполообразную, более или менее плосковершинную. Такая форма кроны присуща спелым и перестойным деревьям в фоновых районах на Европейском Севере. В условиях сильного загрязнения сосновые молодняки проявляют элементы ускоренного старения деревьев и карликовости (маленькая куполообразная крона, трещиноватая кора на сбежистом стволе, уменьшенные размеры шишек и т.п.). Одна из последних стадий существования сосны в районе сильного загрязнения воздуха характеризуется суховершинностью, сохранением лишь единичных ветвей в нижней части засохших крон. У отдельных особей эти ветви опускаются на поверхность почвы и стелются по ней, образуя при этом необычную жизненную форму (полустланик или стланик).

Выраженные изменения ассимилирующих органов и крон доминирующей в бореальных лесах Европейского Севера сосны обыкновенной, определяющих продуцирование органического вещества, являются свидетельством негативных хронических процессов, вызванных выбросами комбината по производству цветных металлов. Полученные данные и их всесторонний анализ свидетельствуют о высокой чувствительности со-

сны обыкновенной к аэротехногенному загрязнению в условиях Кольского Севера. Ее ареал, эколого-биологические особенности, отношение к антропогенным факторам, в частности, к промышленному атмосферному загрязнению, – все эти характеристики соответствуют требованиям, которые обычно предъявляются к растениям-индикаторам состояния природной среды. Полученные количественные и качественные характеристики состояния ассимиляционного аппарата и крон деревьев с достаточной точностью отражают жизненное состояние отдельных деревьев и фитоценозов в целом.

Проведенные нами исследования в подзоне южной тайги на европейской территории (Новгородская обл.) с использованием описанных методов и методических подходов показали, что под влиянием атмосферного загрязнения наблюдаются аналогичные с северными интенсивные процессы повреждения хвои (листьев), изреживания крон деревьев, подавления у них линейного и радиального прироста, разрушения лесных фитоценозов (Борисова, Ярмишко, 2004).

Большинство из выявленных диагностических признаков ослабления и повреждения крон древесных растений положены нами в основу классификации жизненного состояния деревьев и древостоев. Заложенная в ходе выполнения данной работы сеть постоянных пробных площадей используется при проведении экологического мониторинга лесных экосистем. Выполненные исследования позволили разработать научные основы биологической индикации состояния лесных фитоценозов на Европейском Севере.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (гранты 06-04-48902) и программы ОБН РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами».*

## ЛИТЕРАТУРА

*Борисова О.В., Ярмишко В.Т.* Динамика лесных фитоценозов в условиях техногенного загрязнения в Новгородской области // Мат-лы межд. науч.-практ. конф. «Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты». Петрозаводск, 23–25 ноября 2004 г. Петрозаводск, 2004. С.245–249.

Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Под ред. Б.Н.Норина и В.Т.Ярмишко. Л., 1990. 195 с.

Методы изучения лесных сообществ / Отв. ред. В.Т.Ярмишко, И.В.Лянгузова. СПб, 2002. 240 с.

Проблемы экологии растительных сообществ / Отв. ред. В.Т.Ярмишко. СПб, 2005. 450 с.

*Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений. М., 1962. 378 с.

*Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А.* Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург, 2003. 146 с.

*Цветков В.Ф., Цветков И.В.* Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. 354 с.

*Ярмишко В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб., 1997. – 210 с.

*Hanisch B., Kilz E.* Waldschaden erkennen. Fichte und Kiefer. Stuttgart, 1990. 344р.