

ХОД РОСТА *PINUS SYLVESTRIS* L. НА СЕВЕРНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 2012 В.Т. Ярмишко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт
им. В. Л. Комарова Российской академии наук

Поступила 15.03.2012

В статье рассмотрена негативная роль атмосферных загрязнителей медно-никелевого производства на прирост древесины сосны обыкновенной на северном пределе ее распространения.

Ключевые слова: сосна, рост, северный предел, атмосферное загрязнение, корреляционный анализ

Всестороннее изучение особенностей прироста древесины основных лесобразующих пород является актуальным в настоящее время не только с точки зрения оценки биологической продуктивности лесных экосистем, но и как фактической основы для оценки эффектов популяционных взаимоотношений, в частности, выяснения причин индивидуальной изменчивости и устойчивости древесных видов под влиянием природных и антропогенных факторов. Цель настоящей работы – изучить влияние промышленного атмосферного загрязнения разной интенсивности на радиальный прирост древесины сосны обыкновенной в условиях Кольского Севера.

Многолетние комплексные исследования проводились на постоянных пробных площадях (ППП) в сообществах сосны обыкновенной, относящихся к двум наиболее распространенным на Кольском полуострове группам ассоциаций, – соснякам лишайниковым и зеленомошным на иллювиально-железистых подзолистых почвах [9].

Большинство ППП ориентированы по градиенту загрязнения к юго-западу от источника эмиссии (по направлению господствующих ветров). Часть из них расположена в фоновых условиях на удалении 60 км и более от медно-никелевого комбината, расположенного в г. Мончегорске. Средняя концентрация SO_2 в воздухе за вегетационный период здесь составляет менее 10 мкг/м^3 , содержание тяжелых металлов (Ni, Co, Cu) в растениях и почве не превышает $14\text{-}16 \text{ мг/кг}$. В $30\text{-}35 \text{ км}$ к юго-западу от источника эмиссии расположен район среднего атмосферного загрязнения, где концентрация SO_2 в воздухе варьирует в пределах

$25\text{-}35 \text{ мкг/м}^3$, а содержание тяжелых металлов в верхних горизонтах почвы в $10\text{-}12$ раз больше, чем в фоновых сообществах. Последняя группа ППП сосредоточена в радиусе $8\text{-}15 \text{ км}$ от эпицентра промышленных выбросов и отличается высоким уровнем загрязнения окружающей среды: средняя концентрация двуокиси серы в воздухе за вегетационный период превышает 40 мкг/м^3 , а Ni и Cu в растениях и почве в $150\text{-}200$ раз больше, чем в фоновых условиях (на контроле). Здесь сохранились лишь молодые древостои сосны обыкновенной, состояние которых можно классифицировать как сильно поврежденные или отмирающие.

Методика подбора, закладки ППП и детального описания древесной растительности описана нами ранее [9, 5]. Для получения количественных данных при изучении особенностей роста по диаметру сосны обыкновенной на каждой пробной площади (в пределах рабочей зоны) были отобраны по $15\text{-}25$ модельных деревьев.

Для определения интенсивности прироста древесины сосны обыкновенной у моделей были отобраны буравом Пресслера керны по двум направлениям – северном и южном – на высоте $1,3 \text{ м}$ от корневой шейки; у других моделей, используемых для оценки запасов фитомассы и качества древесины, выпиливали диски (спилы толщиной $1,5\text{-}2 \text{ см}$). Анализ образцов осуществлялся на спилах по 4 направлениям (по сторонам света). Особенно это важным было для образцов древесины сильно поврежденных и перестойных деревьев из районов интенсивного атмосферного загрязнения, где нередко наблюдается выпадение годичных слоев, частичное их формирование, а также образование ложных слоев. У сильно поврежденных моделей возникла необходимость оценивать целост-

ность каждого годичного слоя по всей окружности (особенно за последние 30-40 лет). Измерение ширины годичных слоев древесины (с точностью до 0,01 мм) проводилось с помощью прибора собственной конструкции [8]. Принцип работы прибора и методика измерений ширины годичных слоев описаны нами ранее [8, 9]. Статистический анализ данных и вычисление коэффициентов корреляции выполнены на компьютере с помощью стандартного пакета программ Stat-Graphics [2, 16].

Исследованиями установлено, что средний ежегодный прирост древесины в 50-летних сосняках зеленомошных в Ливском и Ловозерском фоновых районах за исследуемый период (1960-1990 гг.) составлял 1.11 мм и 1.14 мм соответственно. В 1960-е годы у молодых сосен интенсивность радиального прироста была близка к средней (1.06-1.24 мм/год), а затем активность его резко стала увеличиваться и в 1976-77 гг. он достиг своего максимального значения на обоих участках – 1.5-1.7 мм в год. Постепенным спадом интенсивности прироста древесины сосны обыкновенной характеризуются 1980-е годы. Особенно это заметно на участке в Ловозерском районе, где густота древостоя в 4-5 раз была выше, чем в сосняках Ливского района.

Анализ кривых абсолютных значений радиального прироста сосны обыкновенной трех поколений (300, 200 и 120-130 лет) в фоновом районе позволил установить, что у особей всех возрастных групп отчетливо выражены кратковременные циклы флуктуации прироста по диаметру. Они, как правило, имеют синхронный характер и заметно отличаются по амплитудам колебаний прироста. Следует отметить, что амплитуда флуктуации прироста относительно молодых особей сосны обыкновенной (II-го и III-го поколения) больше, чем у спелых или перестойных деревьев. Прирост древесины у 300-летних и старше сосен относительно стабилен, особенно в последние 30-40 лет. Интенсивность его у молодых особей сосны в 2 раза выше, чем у 300-летних. Причем, сосны II-го и III-го поколения имеют очень близкие по значению прироста в исследуемый период.

В районе сильного атмосферного загрязнения прирост древесины сосны обыкновенной III класса возраста в начале 1960-х годов

был достаточно близким по своей абсолютной величине с приростом одновозрастной сосны в фоновых районах. В дальнейшем, по мере увеличения мощности комбината, а также с началом использования в 1968-69 гг. норильской руды, отличающейся от местной повышенным содержанием серы, в районе сильного загрязнения произошло заметное снижение радиального прироста сосны, которое продолжается до настоящего времени. В фоновых древостоях также отмечалось некоторое уменьшение радиального прироста сосны в период с 1976 по 1984 гг., а затем его значения стали постепенно увеличиваться.

Особый интерес представляет рост сосны по диаметру в районе умеренного уровня атмосферного загрязнения. Интенсивность радиального прироста сосны в этих условиях была выше в период с 1960 по 1983 гг., чем на контроле. Объяснить это можно, видимо, временным мелиорирующим эффектом бедных северо-таежных почв отходами медно-никелевого производства. Подтверждением тому является интенсивное разрастание микориз на корнях сосны в районах умеренного и среднего загрязнения [9]. С 1965 года кривая роста приобрела нисходящий характер, а в 1984 году абсолютные значения прироста по диаметру здесь были впервые ниже, чем в фоновых древостоях. С этого периода наблюдается резкое падение прироста древесины у сосны обыкновенной в рассматриваемых условиях.

Анализ ширины годичных слоев сосны разных классов жизненного состояния в районе умеренного уровня промышленного загрязнения свидетельствует о том, что погодичная изменчивость радиального прироста у них происходит почти синхронно. Наиболее отчетливо увеличение прироста прослеживается у здоровых деревьев в 1964-1966 гг. Затем наблюдается его падение, о котором можно говорить как о естественном колебании, очевидно, внутривекового ритма. На фоне нисходящей фазы проявляется погодичная изменчивость. Последний согласованный всплеск увеличения радиального прироста сосны всех трех категорий жизненного состояния наблюдался в 1979-80 гг. После этого начался период существенного снижения прироста по диаметру. Более интенсивное снижение наблюдается у отми-

рающих (усыхающих) особей, хотя ослабленные сосны по абсолютным значениям прироста довольно близко расположены к первым.

Анализ данных погодичной динамики прироста сосны обыкновенной в спелых и перестойных древостоях, расположенных в районах с разной степенью техногенного загрязнения показывает, что до 1940-х годов древостои характеризовались достаточно устойчивым радиальным приростом с присущими ему погодичными флуктуациями. Синхронность в погодичной изменчивости прироста в этот период была достаточно высокой. В районе сильного загрязнения с 1943 года у сосны обыкновенной наблюдалось устойчивое снижение прироста по диаметру. На фоне нисходящей линии прироста проявляется его погодичная изменчивость. Очень резкое падение прироста в этих условиях у сохранившихся старых деревьев (300-400 лет) наблюдалось с середины 1970-х годов, когда абсолютные его значения колебались в пределах от 0.16 до 0.08 мм в год.

В районе умеренного загрязнения последний всплеск радиального прироста у сосны обыкновенной наблюдался в 1960-62 гг. После этого периода проявляются четкие тенденции снижения прироста от года к году, причем особенно это резко происходит с начала 1980-х годов. В настоящее время интенсивность прироста старых сосен в рассматриваемых условиях не превышает 0.12-0.16 мм против 0.60-0.70 мм в фоновых древостоях.

Корреляционный анализ рядов радиального прироста сосны обыкновенной в районах умеренного и сильного загрязнения и объемов выбросов газообразных веществ и твердых частиц достоверно обнаруживает отрицательную связь. Значимая корреляция существует как между радиальным приростом сосны и количеством выбрасываемой в атмосферу двуокиси серы ($r = -0.47$; $n=23$; $P < 0.05$), так и количеством твердых частиц ($r = -0.77$; $n=11$; $P < 0.05$). Следует отметить, что выявленная связь гораздо теснее в районе сильного загрязнения, чем в условиях умеренного промышленного загрязнения.

Финские исследователи [13] выявили положительную связь между радиальным приростом и средней температурой июля в 30-

летних древостоях сосны обыкновенной в незагрязненных районах. Однако в окрестностях предприятия по производству минеральных удобрений корреляции между приростом и температурой июля не было обнаружено. В этих условиях, по мнению авторов, ширина годичных колец сосны зависит от действия выбрасываемых удобрений (пыли) и токсических агентов. Связь радиального прироста с интенсивностью эмиссий была выявлена другими авторами [3, 10, 11, 12, 14, 15, 17].

В другом примере расчет приводится для условно здоровых и сильно поврежденных особей сосны обыкновенной 50-летнего возраста в районе умеренного загрязнения. В этих условиях наблюдается резкое снижение прироста по диаметру у деревьев всех классов жизненного состояния с 1981-1982 гг. Прирост здоровых деревьев снизился за десятилетие (1981-1990 гг.) в среднем на 32 % по сравнению с периодом 1969-1980 гг. Обращает внимание относительно большее (в 2 с лишним раза) снижение прироста условно здоровых и здоровых деревьев в районе умеренного загрязнения лесных экосистем, чем в фоновых древостоях. Причину этого мы видим в хроническом техногенном загрязнении. И если по внешнему виду крон (отсутствие повреждения хвои, незначительное снижение продолжительности ее жизни, отсутствие сухих ветвей в верхней части и по периферии крон и др.) часть деревьев еще можно отнести к классу "здоровые", то данные радиального прироста свидетельствуют об угнетении роста, об отрицательном воздействии атмосферных загрязнителей. Такие деревья необходимо относить уже к классу "ослабленные" (поврежденные).

Одним из важных разделов наших исследований была оценка влияния атмосферного загрязнения на особенности формирования годичных слоев древесины сосны обыкновенной на разной высоте ствола при вершинном типе повреждения и отмирания деревьев. Исследования проводились в 50-летних древостоях сосны обыкновенной в фоновом районе (Уполокшском) и районе умеренного загрязнения (Чунозерский), где объектами детального изучения были здоровые, ослабленные и сильно ослабленные особи. Из каждого модельного дерева у шей-

ки корня (0 м), на высоте 1 м и далее через каждый метр по высоте отбирали спилы. На каждом из образцов инструментально измерялись годовичные слои по 4-м направлениям (отдельно ширина ранней и поздней древесины в мм).

Исследования показали, что в фоновых условиях ширина годовичных слоев имеет большие абсолютные значения в верхней части ствола, чем у основания. Примечательно, что возникшая "этажность" дендрограмм при формировании годовичных слоев сохраняется практически на протяжении всего периода роста сосны. Исключение составляет лишь прирост у корневой шейки, что связано, видимо, с биологическими особенностями сосны обыкновенной в условиях Европейского Севера. В 1960-х – начале 1970-х гг. выявленная "этажность" дендрограмм, отражающих радиальный прирост на разной высоте ствола в фоновых древостоях, имела место и в условиях умеренного загрязнения. Однако в конце 1970-х годов, в период общего спада прироста в рассматриваемом регионе и постепенного накопления токсикантов в лесных экосистемах, интенсивность радиального прироста резко упала на всех исследованных уровнях по стволу, а абсолютные значения стали очень близкими.

Исследования ширины годовичных колец сосны по высоте другими авторами показывают, что от основания до высоты 1-3 м, реже 5 м, ширина их чаще всего уменьшается до минимума, после чего наблюдается стабильное увеличение и у вершины слой достигает максимальных размеров [1, 4, 6]. Заметное уменьшение ширины годовичных слоев в верхних частях стволов сосны в условиях средних уровней загрязнения целиком и полностью связано, по нашему мнению, с негативным воздействием отходов медно-никелевой промышленности (окислов серы в сочетании с тяжелыми металлами).

Доля поздней древесины в формировании годовичного слоя в фоновых древостоях постепенно снижается по мере продвижения от основания к вершине ствола. Подобное прослеживается и в районе среднего уровня загрязнения примерно до середины ствола. Начиная с 5-го м, участие поздней древесины заметно возрастает, достигая своего максимального значения на самой вершине, что

является косвенным доказательством угнетения прироста. Любопытно, что снижение ширины годовичного слоя произошло на 6-м м, а заметное увеличение доли поздней древесины – на 5-м м. Последнее дает основание считать, что поздняя часть древесины годовичного слоя более четко реагирует на действие загрязнителей, чем весь слой, и может быть использована в качестве диагностического признака состояния, как отдельных деревьев, так и древостоев в целом.

В заключение необходимо отметить, что достаточно интенсивный радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском Севере продолжается до 45-50 лет, а по данным В.Ф.Цветкова и В.И.Цветковой [7] даже дольше, до 50-60 лет. В достаточно густых древостоях (12-15 тыс. шт./га) он заметно снижается с 25-30-летнего возраста. Кульминация годовичного радиального прироста совпадает с периодом максимального роста в высоту сосны. Максимальные значения годовичного прироста по диаметру сосны обыкновенной были отмечены в 1930-1940-х годах у сохранившихся в настоящее время 80-100-летних особей в 8-10 км южнее г. Мончегорска. Ширина годовичных слоев в этот период у сосны варьировала в пределах от 2.06 мм до 2.46 мм. В рассматриваемом районе (близ комбината «Североникель») минимальный прирост по диаметру у сосны зафиксирован в 1986-1990 гг. как у молодых (50-летних), так и отдельно сохранившихся 400-летних особей. Абсолютные значения его не превышали 0.05-0.08 мм в год.

При анализе образцов (спилов) древесины ствола из района сильного загрязнения имели место случаи полного или частичного выпадения годовичных слоев у сосны обыкновенной. Так, например, в 50-летних древостоях у сильно ослабленных особей в 28-30-летнем ряду наблюдений выпали 4 годовичных слоя. У отдельных модельных деревьев они были полными. Самый маленький, частично образованный, годовичный слой не превышал 15-20 % от полной его окружности. Это дает нам основание сделать вывод о том, что отбирать образцы древесины для дендроиндикационных исследований из районов экстремальных климатических условий или достаточно сильного атмосферного загрязнения необходимо только в виде спилов (дисков).

При этом нужно обследовать каждый годичный слой по всей окружности с тем, чтобы убедиться в его целостности или случаях частичного выпадения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. — М.: Лесн. пром-ть, 1969. — 240 с.
2. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с применением ЭВМ.- М., 1982. — 288 с.
3. Воронин В.И. Дендроиндикация в системе мониторинга лесов, подверженных воздействию промышленных эмиссий // Лесопатол. исслед. в Прибайкалье. — Иркутск, 1989. — С.24-33.
4. Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. — М.: Колос, 1992. — 495 с.
5. Методы изучения лесных сообществ. Под ред. В.Т.Ярмишко и И.В.Лянгузовой. СПб: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
6. Семенов Б.А. К методике определения истинной ширины годичных слоев и содержания поздней древесины в стволах сосны Крайнего Севера // Вопросы предтундрового лесоводства Европейской части СССР. — Архангельск. 1983. — С. 83-92.
7. Цветков В.Ф., Цветкова В.И. Закономерности формирования годичного слоя и радиального роста сосны на Кольском полуострове // Ботанические исследования за Полярным кругом. — Апатиты, 1985. — С.82-88.
8. Ярмишко В. Т. Прибор для измерения ширины годичных колец деревьев // Бот. ж. — 1983. — Т.68, №10. — С.1428-1430
9. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1997. — 210 с.
10. Farrar J.F., Relton J., Rutter A.J. Sulphur dioxide and growth of *Pinus sylvestris* // J. Appl. Ecol. — 1977.—V14.—P.861-875.—P.28-43.
11. Forest Condition in a Changing Environment. — The Finnish Case (Ed. Eino Mälkönen)/ Klumer Academic Publishers. — V.65. 2000. —378 p.
12. Franz F., Pretzsch H. Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf // Schriftenr. Forstwiss. Fak. Univ. Munchen und Bayer. forstl. Versuchsun Forschungsanst. — 1988. — Bd.92. — P. 46-95.
13. Havas P., Huttunen S. The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Biol. Conserv. — 1972. — V.4, №. 5 (October). — P.361-368.
14. Lucier A.A; Warnick W.L., Hyink D.M. Possible bias in tree-ring time series due to mortality // J. Forest. — 1989. — V.87, №.7. — P.31-32.
15. McClenahan I.R., Dochinger L.S. Tree ring response of white oak to climate and air pollution near the Ohio river valley // J. Environ. Qual. — 1985. — V. 14, №. 2. — P.274-280.
16. SAS/Stat. User's guide, version 6.0. SAS Institute, Cary, N.C. — 1990. — 572 p.
17. Tessier L., Serre-Bachet F., Guiot J. Pollution fluoree et croissance radiale des coniferes en Maurienne (Savoie, France) // Ann. sci. forest. — 1990. — № .47. — P.309-323.

THE COURSE OF GROWTH OF A *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE NORTHERN LIMIT OF DISTRIBUTIONS IN THE CONDITIONS AIR POLLUTION

© 2012 V.T. Yarmishko

Komarov Botanical Institute, RUSSIA

Numerous data on peculiarities of pine growth are cited. Negative correlation is for certain found between the absolute values of diameter increase in polluted areas and volume of emissions on the Kola Peninsula.

Key words: Scots pine, growth, northern limit, air pollution, correlation analysis