

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

О.Н. ТЮКАВИНА

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск (olga-tukavina@yandex.ru)

RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE IN THE CONDITIONS OF ATMOSPHERIC POLLUTION

O.N. TYUKAVINA

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk (olga-tukavina@yandex.ru)

Резюме. В работе приведены данные о радиальном приросте сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Выявлено стимулирующее действие токсичных веществ при их изначально небольшом, красном или периодическом воздействии на сосну в виргинальном периоде развития. Отмечается значимая корреляция прироста ранней древесины с массой выбросов загрязняющих веществ Архангельским целлюлозно-бумажным комбинатом.

Ключевые слова: радиальный прирост, сосна обыкновенная, атмосферное загрязнение, целлюлозно-бумажный комбинат.

Abstract. The article presents data on the radial growth of Scots pine in conditions of the atmospheric pollution. It revealed the stimulating effect of toxic substances in case that their influence is initially insignificant, marginal or periodic in the virginal period of pine development. There was a significant correlation of early wood growth with pollutants' emission load of Arkhangelsk pulp and paper mill.

Key words: radial growth, Scots pine, atmospheric pollution, pulp and paper mill.

Сосновые насаждения испытывают сильное аэротехногенное воздействие в районах сосредоточения предприятий лесопромышленного комплекса и теплоэнергетики. Учитывая низкую биологическую продуктивность и слабую способность к самоочищению северных экосистем, изучение сосны, как основного лесообразующего вида в регионе имеет большое значение [Щекалев, Тарханов, 2006]. Важным индикатором загрязнения лесных сообществ является радиальный прирост [Алексеев, 1993; Таранков, Матвеев, 1994]. Сосна обыкновенная отличается повышенной чувствительностью к промышленному загрязнению [Зарипов, Зайцев, 2014]. Формирование годичного слоя происходит под влиянием комплекса факторов, определяющих условия формирования дерева. Степень воздействия промышленного загрязнения на радиальный прирост древесных растений не однозначна [Зарипов, Зайцев, 2014] и зависит от изменения погодных условий [Тарханов и др., 2004]. Загрязнение может приводить как к снижению прироста деревьев [Подзоров, 1973; Щекалев, Тарханов, 2006; Ivshin, Shiyatov, 1995; Augustaitis, 1999; Schulze et al., 2005], так и к увеличению [Ярмишко, 1997; Смит, 1985; Innes, Oleksyn, 2000; Рожков, Козак, 1989; Трасс, 1984]. Малые концентрации SO₂ могут стимулировать рост деревьев сосны [Смит, 1985; Innes, Oleksyn, 2000; Попов и др., 2011].

Цель работы: изучение особенностей радиального прироста сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения целлюлозно-бумажным комбинатом.

Район исследований расположен в пределах Архангельского промузла. Один из крупнейших загрязнителей атмосферы является Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (АЦБК) [Бечина и др., 2013], выброс, которого составляет 7,5 % общего выброса загрязняющих веществ по деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности страны [Промышленная экология, 2009]. Среди выбросов Архангельского ЦБК преобладают неорганическая пыль (25,8 тыс. т/год), двуокись серы (10,2), окись углерода (5,8), двуокись азота (5,1), диметилсульфид и дисульфид (0,1), метилмеркаптан (0,16 тыс. т/год) [Сурсо, Тарханов, 1996]. Соединения серы являются более значимым фактором поражения лесных экосистем [Власова, Филипчук, 1990]. Выброс сероводорода в атмосфер-

ный воздух с 2003 по 2013 гг. составил от 86,3 до 59,4 тонн в год. Первые цеха на предприятии начали работу с 1940г, затем наращивалась его мощь.

Объектами исследований были выбраны сосновые древостои 63–78-летнего возраста (табл. 1). Согласно зонированию территории по комплексному индексу загрязнения снежного покрова в районе Архангельской промышленной агломерации [Тарханов, Прожерина, Коновалов, 2004], пробные площади (ПП) №1 и №2 характеризуются превышением фонового уровня комплексного индекса загрязнения снежного покрова в 40–80 раз; пробные площади №3, №4 – в 5,1–10 раз; пробная площадь №5 – в 1,1–5 раз. Пробные площади №6 и №7 являются фоновыми и удалены от источника эмиссии на расстояние более 50 км. Большинство пробных площадей ориентированы по градиенту загрязнения к югу от источника эмиссии (по направлению господствующих ветров в летний период).

На пробных площадях пропорционально представленности деревьев по ступеням толщины выбирали по 15 модельных деревьев. У модельных деревьев на высоте 1,3 метра с северной и южной стороны были отобраны буравом Пресслера керны. Ширина годичных колец деревьев измерялась на полуавтоматическом измерительном комплексе LINTAB с программным пакетом TSAP с точностью до 0,01 мм. Статистический анализ данных и вычисление коэффициентов корреляции выполнены с помощью пакета программ Stat-Graphics.

Таблица 1

Характеристика пробных площадей

№	Тип леса	Состав	Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Относительная полнота	Возраст, лет	Бонитет	Удаленность от АЦБК, км
1	Сосняк черничный	9С1Бед.Е	С	16,8	16,7	0,58	65	III	3 к югу
2	Сосняк черничный	9С1Бед.Е	С	18,0	19,8	0,62	68	III	3 к северо-западу
3	Сосняк черничный	9С1Бед.Е	С	18,9	20,1	0,56	63	III	6 к юго-западу
4	Сосняк черничный	9С1Бед.Е	С	16,8	20,6	0,6	63	III	7 северо-восток
5	Сосняк черничный	9С1Е+Б	С	19,0	21,0	0,68	78	III	12 к югу
6	Сосняк черничный	9С1Бед.Е	С	20,2	21,5	0,69	76	III	50 к югу
7	Сосняк черничный	8С2Б+Е	С	21,6	20,7	0,65	71	III	100 к югу

Высокая интенсивность роста характерна для ранних этапов онтогенеза до 1958 г. (рис.). В этот период наибольший радиальный прирост характерен для деревьев пробных площадей, расположенных вблизи АЦБК, причём максимальных значений (4 мм) достигает на пробной площади, расположенной в 3 км к северо-западу. Интенсивность его в данных условиях на 24–34% выше по сравнению с фоновым районом (табл. 2). Различия значимы ($t=4,1-6,6$ при $t_{\text{кр}}=2,1$). Таким образом, аномальные приросты по диаметру наблюдаются на пробной площади, подверженной в вегетационный период краевому или периодическому воздействию выбросов, так как в летний период преобладают северные и северо-западные ветры [Тарханов и др., 2004]. На пробной площади на том же расстоянии (3 км), но в южном направлении радиальный прирост сосны в 1,5 раза ниже, чем в северо-западном направлении, но практически равен фоновым насаждениям. Следовательно, при изначально небольшом, краевом или периодическом воздействии вредных веществ выбросов АЦБК на молодые сосны токсические вещества действуют как стимуляторы. Увеличение приростов по диаметру за период работы ЦБК в результате внедрения в организм токсических веществ в малых дозах на начальной стадии указывали ряд авторов [Рожков, Козак, 1989; Трасс, 1984]. Повышенные приросты в первый период работы АЦБК наблюдались у деревьев, расположенных до 6 км к югу от источника выбросов.

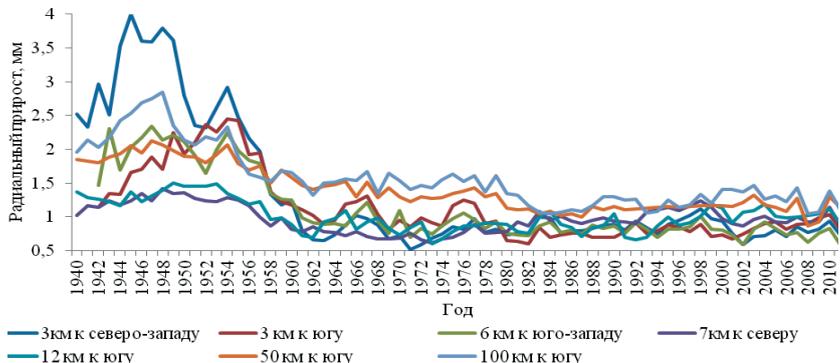


Рис. Динамика радиального прироста ствола сосны обыкновенной в сосняках черничных.

С возрастом скорость роста замедляется. С 1958 по 1982 гг. интенсивность радиальных приростов сосны на фоновых пробных площадях выше по сравнению с окрестностями Архангельской агломерации на 43–47%. Различия значимы ($t=8,0-15,6$ при $tst=2,1$).

С 1982 г. – различия в приростах по диаметру на разных пробных площадях снижаются. Но радиальный прирост сосны фоновых районов превышает загрязненные на 27–33%.

Таблица 2

Радиальный прирост сосны обыкновенной по периодам

Период	№ ПП						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
1940–1957	1,9±0,10	2,9±0,15	2,0±0,06	1,2±0,03	1,3±0,03	1,9±0,03	2,2±0,08
1958–1981	1,0±0,04	0,8±0,04	1,0±0,04	0,8±0,02	0,9±0,02	1,4±0,03	1,5±0,02
1982–2010	0,8±0,02	0,8±0,02	0,8±0,02	1,0±0,02	0,9±0,03	1,1±0,02	1,2±0,02

Таким образом, стимулирующее действие токсичных веществ выбросов на радиальный прирост сосны происходило в течение 18 лет с начала работы АЦБК. Далее радиальный прирост сосны в импактной зоне снизился по сравнению с фоновыми насаждениями.

Корреляционный анализ рядов радиального прироста сосны обыкновенной и массой выбросов загрязняющих веществ достоверно обнаруживает отрицательную связь на пробной площадке, расположенной в 3 км к северо-западу, где наблюдался наивысший эффект от воздействия токсичных веществ (табл. 3). Зависимость отрицательная, значительная. Чем больше масса выбросов загрязняющих веществ, тем меньше радиальный прирост. Однако данная зависимость выявлена только у приспевающих деревьев. Радиальный прирост деревьев старше 80 лет не коррелирует с массой выбросов загрязняющих веществ ЦБК.

Таблица 3

Зависимость радиального прироста сосны от массы выбросов АЦБК за период с 1990 – 2011 гг.

Показатели связи*	№ ПП						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
r	0,27	- 0,6	0,23	0,05	0,01	0,19	0,20
m _r	0,20	0,14	0,20	0,21	0,21	0,21	0,20
t _r	1,4	4,5	1,1	0,24	0,06	0,9	1,0
η	0,35	0,76	0,40	0,36	0,55	0,26	0,43
m _η	0,19	0,1	0,18	0,18	0,15	0,20	0,17
t _η	1,9	8,6	2,2	1,9	3,7	1,3	2,5

Примечание: * – r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; t_r – достоверность; η – корреляционное отношение; m_η – ошибка корреляционного отношения; t_η – достоверность

Рассматривая структуру годичных слоев на данной пробной площади, только прирост ранней древесины коррелирует с массой выбросов загрязняющих веществ ЦБК ($r = -0,67 \pm 0,11$ при $t = 5,7$). Прирост поздней древесины не зависит от массы выбросов загрязняющих веществ ($r = -0,15 \pm 0,21$ при $t = 0,7$).

Таким образом, при изначально небольшом, краевом или периодическом воздействии вредных веществ выбросов АЦБК на молодые сосны токсические вещества действуют как стимуляторы. Стимулирующее действие токсичных веществ выбросов на радиальный прирост сосны происходило в течение 18 лет с начала работы АЦБК. Прирост ранней древесины коррелирует с массой выбросов ЦБК. Отрицательная значимая достоверная связь между данными показателями отмечается на пробной площади, где наблюдался наивысший эффект от воздействия токсичных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А.С.** 1993. Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения. *Лесоведение*. 4: 66–71.
- Бечина И.Н., Попова Л.Ф., Васильева А.И., Коробичина Ю.С.** 2013. Накопление и перераспределение тяжёлых металлов в почвах г. Новодвинска. *Научный диалог*. 3(15): 7–25.
- Власова Т.М., Филипчук А.Н.** 1990. Выбор биоиндикаторов для организации локального мониторинга северных лесов в условиях азротехногенного воздействия. *В кн.: Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Международный симпозиум (Архангельск, 16–26 июля 1990)*. Ч.3. М.: 6–8.
- Заринов Ю.Ф., Зайцев Г.А.** 2014. Особенности радиального прироста сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Том 16, 1(3): 745–748.
- Подзоров Н.В.** 1973. Влияние задымления атмосферного воздуха на прирост сосны обыкновенной по диаметру. *Лесной журнал*. 2: 164–165.
- Попов А.С., Фомин В.В., Шалаумова Ю.В.** 2011. Влияние мезоклимата и атмосферных промышленных загрязнений на радиальный прирост сосны обыкновенной. *Аграрный вестник Урала*. №4 (83): 15–18.
- Промышленная экология:** учебное пособие. 2009. Ростов-на-Дону – Москва: Феникс; МарТ: 720 с.
- Рожков А.А., Козак В.Т.** 1989. Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат: 239 с.
- Смит У.** 1985. Лес и атмосфера: Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха. М.: Прогресс: 432 с.
- Сурсо М.В., Тарханов С.Н.** 1996. Лихениоиндикаторы состояния воздушной среды в районе Архангельского промузла: Экологические проблемы Европейского Севера. Екатеринбург: УрОРАН: 407 с.
- Таранков В.И., Матвеев С.М.** 1994. Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения. *Лесной журнал*. 4: 47–51.
- Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н.** 2004. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния. Екатеринбург: УрОРАН: 333 с.
- Трасс Х.Х.** 1984. Экологическое мышление и Байкал. *В кн.: Природа*. 10: 43–49.
- Щекалев Р.В., Тарханов С.Н.** 2006. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: УрОРАН: 128.
- Ярмишко В.Т.** 1997. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИХСПБГУ: 210 с.
- Augustaitis A.A.** 1999. New Imitative Model to Predict the Impact of Air Pollutans on Scots Pine Health and Radial Increment. *Water, Air, Soil Pollut.* 116: 437–442.

- Innes J., Oleksyn J.** 2000. Forest Dynamics in Heavily Polluted Regions. Oxford: CABI Publishing: 248.
- Ivshin A., Shiyatov S.** 1995. The assessment of subtundra forests degradation by dendrochronological methods in the Norilsk industrial area. *Dendrochronologia*. 13: 113–126.
- Schulze E.D., Beck E., Muller-Hohenstein K.** 2005. Plant ecology. Springer. Berlin-Heidelberg: 440.