

2. *Bukatsch, F.* Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin // *Mikrokosmos*, Stuttgart, 1972. Vol. 61. № 8. P. 33–36.
3. *Carlquist, S.* Ecological factors in wood evolution: a floristic approach // *American Journal of Botany*, Saint Louis, 1977. Vol. 64. № 7. P. 887–896.
4. *Castro, A. A. J. F. et al.* How rich is the flora of Brazilian cerrados? *Annals Missouri Botanical Garden*, Saint Louis, 1999. Vol. 86. P. 192–224.
5. *Coutinho, L. M.* Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. (Ed.). *Fire in the tropical biota. Ecosystem processes and global challenges*. Berlin: Springer Verlag, 1990. P. 81–105.
6. *Coutinho, L.M.* O bioma do cerrado. In: KLEIN, A.L. (Org.). *Eugen Warming e o cerrado brasileiro*. São Paulo: UNESP; Imprensa Oficial do Estado, 2002. P. 77–92.
7. *Eiten, G.* The cerrado vegetation of Brazil // *Botanical Reviews*, New York, 1972. Vol. 38. № 2. P. 201–341.
8. *Franklin, G. L.* Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. // *Nature*, London, 1945. Vol. 155. P. 51.
9. *Hijmans, R. J. et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*, Chichester, 2005. Vol. 25. № 15. P. 1965–1978.
10. *IAWA COMMITTEE.* List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, Utrecht, 1989. Vol. 10. № 2. P. 219–332.
11. *Kraus, J. E.; Arduin, M.* Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Rio de Janeiro: Seropédica, EDUR, 1997. 198 p.
12. *Ludwig, J.A.; Reynolds, J.F.* *Statistical ecology: a primer on methods and computing*. New York: John Wiley & Sons, 1988. 368 p.
13. *Mittermeier, R. A. et al.* Hotspots. Mexico City: CEMEX, 1999. 430 p.
14. *Oliveira, P. S.; Marquis, R. J.* (Eds.) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. 398 p.
15. *Sass, J. E.* *Elements of botanical microtechnique*. New York-London: McGraw-Hill Book, 1958. 222 p.
16. *Zar, J. H.* *Biostatistical analysis*. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 662 p.

## THE FEATURES OF CONDUCTIVE TISSUE STRUCTURES IN PINE AND BIRCH STEMS AT ANTHROPOGENIC LANDSCAPES

*Stasova V.V.<sup>1</sup>, Skripalshikova L.N.<sup>1</sup>, Zubareva O.N.<sup>1</sup>, Tatarintsev A.I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru

<sup>2</sup> Siberian state technological university, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The structural changes of conductive and storage tissues of pine and birch stems under the influence of complex of anthropogenic loadings were studied. Both in pine and birch stems the decrease of xylem annual increments was found. In pine stems it is accompanied by decreasing of tracheid radial dimensions. In pine phloem the reducing of annual increments was less expressed, and so the ratio of xylem cells to phloem ones diminished. These changes increased with the intensification of anthropogenic impact. In birch stem xylem the number of vessels per unit of cross section area showed the tendency to increase under the influence of dust pollution. The frequency of xylem rays appeared to be not directly connected with level of technogenic loads. The influence of dust pollution on the tissues outside the cambium was not shown in this study. All these changes reflected nonspecific reactions of growth processes in unfavorable environmental conditions.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ СТВОЛОВ СОСНЫ И БЕРЕЗЫ В АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

*Стасова В.В.<sup>1</sup>, Скрипальщикова Л.Н.<sup>1</sup>, Зубарева О.Н.<sup>1</sup>, Татаринцев А.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия, E-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru

<sup>2</sup> Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск, Россия

По степени техногенного загрязнения атмосферы Красноярск входит в число наиболее загрязненных городов Российской Федерации. Воздушная среда города загрязняется выбросами ТЭЦ, алюминиевого, цементного, целлюлозно-бумажного заводов и целого ряда других предприятий. К

основным загрязнителям относятся пыль, диоксид серы, фтористый водород, хлористый водород, сероводород, сероуглерод, окислы азота, бенз(а)пирен. Современный уровень загрязнения атмосферы г. Красноярска оценивается как высокий, а в предыдущее десятилетие как очень высокий [9].

Целью данной работы было изучение изменений проводящих и запасающих тканей в стволах деревьев сосны обыкновенной и березы повислой, длительно продуцирующих в условиях сопряженных техногенных и рекреационных нагрузок.

Исследования проводили в сосновых и березовых насаждениях пригородной зоны г. Красноярска, подвергающиеся воздействию промвыбросов разной интенсивности и химического состава, а также различным рекреационным нагрузкам. Древоστοи, продуцирующие вне основного переноса ветров, считали условным контролем. В условиях чистого фона изучали насаждения в 100 км от города вне основного переноса, без рекреационного воздействия. Сосновые насаждения по лесопатологическому обследованию характеризуются как ослабленные и сильно ослабленные, березовые – относительно здоровые. Сосновые насаждения разнотравного типа леса, чистые по составу, V класса возраста. Исследуемые березняки разнотравного типа, порослевого происхождения, с различной долей участия в составе древостоя сосны и осины, V–VI классов возраста.

На пробных площадях в каждом насаждении были выбраны по пять модельных деревьев, средних по лесотаксационным характеристикам, из стволов которых на высоте 1,3 м возрастным буравом были отобраны керны. Для деревьев сосны на поперечном срезе каждого керна в восьми последовательных годовичных слоях ксилемы, считая от камбия, измеряли ширину годовичного слоя в мкм, подсчитывали количество клеток, вычисляли средние радиальные размеры трахеид ранней и поздней древесины. Измеряли также общую толщину луба, подсчитывали количество клеток в годовичных приростах флоэмы, вычисляли средний радиальный размер клетки проводящей флоэмы. Было также подсчитано соотношение годовичных приростов ксилемы и флоэмы, являющихся относительным показателем условий жизни дерева. В лубе было определено процентное содержание паренхимы (танниноносной и кристаллоносной) в первых трех (считая от камбия) годовичных слоях линейным методом по Яценко-Хмелевскому [10]. Отдельно отмечали характерные особенности древесины и луба: состояние прикамбиальной зоны, встречаемость смоляных ходов, наличие трабекул, наличие и обилие кристаллов оксалата кальция. Для деревьев березы на поперечных срезах кернов измеряли ширину годовичных приростов ксилемы, толщину камбиальной зоны, проводящей и непроводящей флоэмы и зоны дилатации (зоны, где ситовидные элементы полностью облитерированы и замещены массивами паренхимной ткани). В ксилеме подсчитывали количество сосудов на 1 мм<sup>2</sup> поперечного среза, частоту лучей во всех тканях среза. В лубе определяли содержание склеренхимы. Характеристики годовичных колец ксилемы были сгруппированы и усреднены по периодам работы карьеров: 1974–1983 гг. (первый карьер работает, начало работы второго карьера), 1984–1995 гг. (первый карьер не работает, второй работает), 1996–2008 гг. (первый карьер интенсивно заполняется отходами ТЭЦ, добычи известняка нет, второй карьер работает).

Лесоэкологические исследования в насаждениях проводили по общепринятым методикам [1, 2]. Влияние рекреационных нагрузок изучали с применением оценочных шкал дистрессии [8]. Аккумуляцию пыли в насаждениях определяли по Ж. Детри [4], содержание фтора и серы определяли химическими методами с использованием сертифицированных методик.

В стволах сосен изучаемых древоостоев средние величины ширины годовичных колец древесины, как в абсолютном выражении, так и в количестве клеток в радиальном ряду, имеют сходные тенденции изменений: чем сильнее техногенная и рекреационная нагрузки, тем более подавлена камбиальная деятельность по образованию ксилемных производных. При этом отмечена тенденция к сокращению периода камбиальной деятельности, а также уменьшению радиальных диаметров трахеид и толщины клеточных стенок в поздней древесине. Прирост количества клеток в годовичных слоях флоэмы в целом сходен с динамикой ежегодных приростов в ксилеме, но снижение количества клеток в годовичном приросте менее выражено. Вследствие этого соотношение клеток ксилемы и флоэмы, образованных камбием за вегетационный период, уменьшается. Это соотношение считается одним из показателей состояния дерева [6], и чем ближе к единице это отношение, тем состояние хуже. В условиях чистого фона это отношение колеблется между 3 и 4, различия между годами обусловлены, очевидно, погодными условиями вегетационного периода. Максимальным техногенным нагрузкам соответствуют минимальные соотношения, падающие в отдельные годы ниже 2.

Содержание ранней и поздней древесины в исследованных годовичных слоях стволов сосен из разных местообитаний изменялось значительно. В основном эти колебания были обусловлены особенностями погодных условий периодов роста. Колебания этого показателя между разными местообитаниями не показывают достоверных различий, тем не менее, можно выделить некоторые тенденции. В условиях интенсивных сопряженных техногенных и рекреационных нагрузок, при приближении к источнику загрязнения содержание поздней древесины уменьшается, в условно чистых местообитаниях этот показатель близок к фоновому. Содержание поздней древесины связано с плотностью древесины и является косвенным показателем её качества. Снижение количества поздних трахеид в годовичном слое уменьшает плотность древесины и ухудшает её прочность [10]. Также было показано, что по мере возрастания антропогенного воздействия на экосистемы размеры элементов древесины уменьшаются. Кроме того, в сильно нарушенных насаждениях отмечено усиленное образование смоляных ходов в древесине, а на наветренных опушках – присутствие трабекул. Это свидетельствует о крайне неблагоприятных условиях роста деревьев. В условиях фона такие явления не наблюдались.

Количество лучей в ксилеме сосен в загрязненных фитоценозах испытывает довольно сильные колебания, обусловленные индивидуальными повреждениями того или иного годовичного слоя в период его формирования. В некоторых случаях отмечено появление травматических смоляных ходов, сопровождающееся увеличением частоты лучей. Частота лучей у сосен в фоновых условиях – величина довольно стабильная и почти не изменяется от года к году.

Распределение частоты флоэмных лучей имеет общую закономерность для сосен на всех пробных площадях: в проводящей флоэме их количество максимально, затем быстро снижается в течение двух лет и далее изменяется незначительно. Это связано с отмиранием и облитерацией клеток Страсбургера при утрате ситовидными клетками функциональной активности. В целом для флоэмы отмечены те же тенденции, как и для ксилемы: более сильная изменчивость частоты лучей по годам при усилении антропогенных нагрузок.

Содержание тяжелой паренхимы определяли в трех годовичных слоях, образовавшихся последними и примыкающих к камбиальной зоне. В чистом древостое объемный процент осевой паренхимы выше (12–14 %), в наиболее загрязненных снижается до 7–8 %. Клетки осевой паренхимы содержат вещества фенольной природы, участвующие в защите дерева от повреждения вредителями и болезнями. Таким образом, при техногенном воздействии в прикамбиальной зоне луба сосны образуется меньшее количество паренхимных клеток, содержащих вещества, обеспечивающие конститутивную защиту растения, и способных участвовать в индуцированной защите.

Исследованные березовые насаждения находятся под влиянием выбросов промышленных предприятий города, но главным образом – под воздействием пыли из прилегающих известняковых карьеров, рекреационная нагрузка незначительна. Установлено, что современные пылевые нагрузки, по сравнению с 1996 годом, возросли и составляют на листьях от 4 до 9,5 г/кг абс. сух. массы. На ветки в березняках приходится пыли от 1,7 до 4,5 г/кг абс. сух. массы. При этом в условно чистом местообитании на листьях и ветках аккумулируется около 3 и 0,5 г пыли на 1 кг абс. сух. массы, соответственно. В большинстве случаев цементная пыль не вызывает изменений во внешних характеристиках деревьев, особенно листопадных пород. Часто воздействие носит скрытый характер и проявляется позднее в метаболизме растений, и в дальнейшем сказывается на биопродуктивности. Скапливающаяся на листьях пыль частично смывается дождями, но может накапливаться, образуя плотные корочки, блокирующие устьица и препятствующие нормальному газообмену [5]. Выявлено, что жизненное состояние березняков, произрастающих в зоне антропогенного влияния, характеризуется как ослабленное. Состояние же березняков, произрастающих в 40 км от города, характеризуется как здоровое.

В стволах березы повислой при сравнении средних годовичных приростов древесины по периодам действия или остановки работы карьеров выявлены следующие тенденции. В незагрязненном древостое ширина годовичных приростов ксилемы в среднем по десятилетиям постепенно увеличивается с возрастом деревьев. В березняке, расположенном вблизи работающего карьера, величина годовичных приростов снижается по мере накопления пылевой нагрузки, особенно в последнее десятилетие. В древостоях, расположенных вблизи неработающего карьера, постепенно заполняемого золой и шлаком с ТЭЦ и отходами производства цементного завода, динамика приростов древесины имеет свои особенности. Прекращение работы карьера и снижение пылевой нагрузки стабилизировало средние приросты ксилемы в период с

1984 по 1995 гг. Интенсивное использование карьера для складирования отходов в последующий период оказало негативное воздействие на рост – средняя ширина годовых слоев ксилемы снизилась.

Нами были измерены некоторые показатели, характеризующие структуру древесины, в частности, количество сосудов на 1 мм<sup>2</sup> годового слоя и частота расположения ксилемных лучей (количество на 1 мм поперечного среза годового слоя по окружности ствола).

Изменения количества сосудов на 1 мм<sup>2</sup> поперечного среза по годам, как и ширина годовых приростов, значительно варьируют от года к году. В некоторые годы изменения происходят синхронно у деревьев из всех изученных местообитаний, что также можно связать с действием погодных условий на формирование годовых слоев ксилемы. В условно чистом местообитании среднее количество сосудов на единицу поперечного сечения годового прироста за исследованные периоды практически постоянно. Интенсивные пылевые нагрузки в зоне влияния карьеров, подавляющие рост ксилемы ствола, модифицируют и структуру образующейся древесины – количество сосудов на единицу площади поперечного среза увеличивается. Следует обратить внимание на противоположную направленность изменений ширины годовых слоев ксилемы и количества сосудов в них. Аналогичное явление было отмечено при изучении строения древесины ряда лиственных пород [3].

Частота лучей в годовых приростах ксилемы также довольно сильно варьирует по годам у деревьев на всех пробных площадях, причем также отмечается синхронность изменений в отдельные годы, связанная, вероятно, с погодными условиями периода роста. Средние же показатели варьируют довольно слабо – не обнаружено достоверных различий между исследованными периодами ни в одном древостое.

Уменьшение ширины годовых приростов древесины и изменение её структуры отмечалось многими исследователями [5].

В нашей работе не найдено различий в толщине камбиальной зоны и количестве клеток в ней в период покоя между деревьями, подвергающимися пылевым нагрузкам разной интенсивности, а также произрастающими в условиях фона. Количество клеток в покоящемся камбии составляло от 4 до 6 при среднем значении около 5.

Влияние интенсивности пылевой нагрузки на толщину живой части коры (от камбия до перидермы), частоту расположения флоэмных лучей и степень склерификации непроводящей части флоэмы нами не было выявлено.

Таким образом, под воздействием длительных техногенных и рекреационных нагрузок в стволах сосны обыкновенной происходит снижение активности деления камбиальных клеток, особенно в сторону ксилемы, а также его продолжительности, что приводит к существенному уменьшению ширины годовых приростов. Это сопровождается уменьшением радиальных размеров трахеид. Во флоэме также наблюдается тенденция к уменьшению ширины годовых приростов, но в меньшей степени по сравнению с ксилемой, в результате чего изменяется соотношение ксилемных и флоэмных клеток, образованных камбием за сезон, в сторону уменьшения. Указанные изменения усиливаются при усилении антропогенного воздействия на фитоценозы. Влияние загрязнения техногенной пылью в исследуемых березняках разнотравных проявляется в основном на уровне снижения годовых приростов ксилемы. Количество сосудов на единицу площади поперечного сечения при этом имеет тенденцию к увеличению. Частота расположения ксилемных лучей, по-видимому, не связана прямо с увеличением техногенной нагрузки. Влияние пылевого загрязнения на ткани, лежащие снаружи от камбия, в данной работе не было выявлено. Выявленные изменения отражают неспецифические реакции ростовых процессов на неблагоприятные условия произрастания.

*Исследования выполнялись при финансовой поддержке ККФН-РФФИ, грант № 05-04-97710 р-енсей-а.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анушин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С.51–57.
3. Вариводина И.Н. Ширина годового слоя, пористость и водопоглощение древесины // Матер.научных чтений памяти профессора А.А.Яценко-Хмелевского. «Структурно-функциональные исследования растений в приложении к актуальным проблемам экологии и эволюции биосферы». СПб, 2009. С. 11–12.
4. Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. М.: Прогресс, 1973. 380 с.

5. Зубарева О.Н., Скрипальщикова Л.Н., Перевозникова В.Д. Аккумуляция пыли компонентами березовых фитоценозов в зоне воздействия известняковых карьеров // Экология. 1999. № 5. С. 339–343.
6. Еремин В.М. Анатомия коры видов рода *Pinus* Советского Союза // Бот. журн. 1978. Т. 63. № 5. С. 649–663.
7. Чавчавадзе Е.С., Умаров М.У., Волкова С.Б. Влияние техногенного загрязнения атмосферы на структуру древесины *Salix caprea* L. и *Betula tortuosa* Ledeb. // Раст. ресурсы, 2002. Вып. 4. С. 104–111.
8. Таран И.В. Рекреационные леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. 228 с.
9. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск, Академическое изд-во Гео, 2009. 179 с.
10. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л., Изд-во АН СССР. 1954. 337 с.

## THE CHANGES IN THE MINERAL COMPOSITION OF PLANT BY DECREASING EMISSION LOAD ON FOREST ECOSYSTEMS

*Sukhareva T.A.*

Institute of the North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre of the RAS, Apatity, Russia  
E-mail: sukhareva@inep.ksc.ru

Abstract. The results of long-term investigations (1991–2007) of foliar mineral composition of dominant plant boreal pine forests under conditions of air borne industrial pollution from the copper-nickel smelter «Severonickel» are discussed. Near the source of pollution the leaf has increased copper, nickel, ferrum concentrations and decreased concentrations of biophil-elements (Ca, K, Mg, Mn). Owing to the reduction in total emissions to the atmosphere (by 3–5 times for 20 years) the concentrations of main pollutants (S, Cu, Ni, Fe) in the assimilating organs became lower, but contents some nutrients reach the deficiency level (K, P, Mg, Mn, Zn).

## ИЗМЕНЕНИЯ В МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ РАСТЕНИЙ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ЭМИССИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

*Сухарева Т.А.*

Учреждение Российской академии наук Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 184209, Апатиты, Мурманская обл., ул. Академгородок, 14а, E-mail: sukhareva@inep.ksc.ru

Важным фактором, определяющим нормальный рост и развитие растений, является сбалансированность их минерального состава. В условиях атмосферного загрязнения в результате фоллиарного и корневого поглощения в ткани растений поступает избыточное количество поллютантов, что вызывает перераспределение многих биогенных элементов. В результате снижается обеспеченность элементами питания не только ассимилирующих органов, отдельных растений, но и лесных биогеоценозов в целом. В Мурманской области крупнейшим источником выбросов в атмосферу подкисляющих веществ и соединений тяжелых металлов является комбинат «Североникель», функционирующий с 1938 г. Долговременное техногенное воздействие привело к значительным нарушениям функционирования лесных экосистем, в т. ч. минерального питания растений.

Целью исследования явилось изучение многолетней динамики минерального состава листьев доминирующих растений древесного, кустарничкового и лишайникового ярусов в процессе техногенной дигрессии северотаёжных лесов.

Исследования проведены в период с 1991 по 2007 гг. минерального состава листьев (хвои) растений в сосняках кустарничково-лишайниковых, формирующихся в сходных природных условиях, но испытывающих разную эмиссионную нагрузку в районе воздействия комбината «Североникель». По данным ОАО «Кольская ГМК» [2], за исследуемый период атмосферные выбросы SO<sub>2</sub> и тяжёлых металлов (Ni, Cu, Cd и др.) комбинатом сократились в 3–5 раз. В условиях атмосферного загрязнения выделены следующие основные стадии дигрессии лесных экосистем: фоновые леса (Ф), дефолирующие леса (Д) и техногенные редколесья (Р) [3]. Изучение проводили на 4 постоянных пробных площадках, по градиенту промышленного загрязнения, в сосновых лесах (8 (Р), 31 (Д), 48 (Д) и 270 (Ф) км от комбината). Образцы хвои отбирали на каждой площадке в 5-кратной повторности из верхней