

УДК 630\*18:582.475.2:676

*Е.А. Робакидзе, Н.В. Торлопова, К.С. Бобкова*

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Робакидзе Елена Александровна родилась в 1966 г., окончила в 1988 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 50 печатных работ в области сезонной динамики роста хвои ели, углеводного обмена хвойных, влияния аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства на хвойные фитоценозы.  
E-mail: robakidze@ib.komisc.ru



Торлопова Надежда Валерьяновна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 60 научных работ в области изучения морфоструктуры хвойных фитоценозов после техногенного воздействия разных типов.  
Тел.: (8212) 24-50-03



### **СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА\***

При сравнительном анализе состояния ели, сосны и березы еловых фитоценозов в условиях загрязнения воздушными выбросами ЦБП установлено, что в зоне действия комбината количество здоровых деревьев в среднем на 20 % меньше, чем в фоновом районе, а по состоянию хвои и кроны более уязвимы береза и ель.

*Ключевые слова:* мониторинг, еловые древостои, жизненное состояние, дефолиация, дехромация, классы повреждения, индексы поврежденности.

ОАО «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» (ОАО «Монди СЛПК») – крупнейшее предприятие целлюлозно-бумажного производства в европейской части России, является источником разнообразных промышленных выбросов в воздушный бассейн. К основным поллютантам относятся оксиды углерода, серы, азота, сероводород, сероорганические соединения, минеральная пыль (табл. 1) [5, 17].

В настоящее время существует несколько подходов к оценке состояния лесов, находящихся в условиях аэротехногенного воздействия. Широкое распространение получил разработанный IUFRO метод мониторинга лесов на региональном и локальном уровнях в процессе выполнения программы ICP-Forests [20]. Для оценки состояния окружающей среды, в частности лесных экосистем, лучших индикаторов, чем сами древесные растения, не существует [19]. Опубликовано значительное количество работ, содержащих

---

\* По программе фундаментальных исследований президиума РАН «Биоразнообразии и генетика генофондов».

Таблица 1

**Выбросы (т) загрязняющих веществ в атмосферу  
на предприятии ОАО «Монди СЛПК»**

Выбросы	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Всего	24 204,5	24 173,3	19 505,4
В том числе:			
твердые вещества	3 084,2	3 449,7	2 096,2
меркаптаны	86,7	87,2	44,1
сероводород	141,5	246,4	51,1
диоксид серы	849,3	684,4	586,4
диоксид азота	2 695,4	2 896,0	2 819,7
оксид углерода	17 295,7	16 774,2	13 815,2

перечень древесных и кустарничковых растений, ранжированных по степени устойчивости к приоритетным загрязняющим веществам [4, 6, 7, 14, 18]. Отмечается высокая чувствительность сосны обыкновенной по сравнению с другими видами древесных растений практически во всех исследуемых регионах. Устойчивость одних лесообразующих пород относительно других ко многим факторам среды определяется довольно широким спектром их биологических и экологических свойств и имеет зональную специфику. По устойчивости к аэротехногенному воздействию лесообразующие породы можно расположить (в сторону ослабления устойчивости) в следующий ряд: в регионе Среднего Урала – береза, лиственница, ель, сосна; в регионе севера Средней Сибири – ель, береза, лиственница [11]. При изучении динамики состояния древостоев в 1992 – 2000 гг. в буферной зоне нефтепромышленного комплекса в соответствии с технологией ICP-Forests наиболее высокие показатели дефолиации среди древесных пород выявлены у ели, затем следуют осина, береза и сосна [13]. При равной дефолиации большие потери несут те деревья, листовая аппарат которых имеет больший возраст. Наиболее поврежденной оказалась ель, затем осина, сосна и береза. Подобные исследования для зоны выбросов целлюлозно-бумажного производства не проводились.

Цель данной работы – сравнить состояние древесных растений еловых фитоценозов в условиях загрязнения воздушными выбросами целлюлозно-бумажного производства ОАО «Монди СЛПК».

Для оценки действия выбросов целлюлозно-бумажного комбината на леса нами в ельниках черничных заложены постоянные пробные площади (ППП), находящиеся к северо-востоку от источника эмиссии загрязняющих веществ на расстоянии до 50 км в направлении доминирующей составляющей региональной розы ветров (табл. 2). Согласно [3, 9], ППП 37 располагается в зоне наибольшего влияния ОАО «Монди СЛПК», ППП 33 и 35 – значительного влияния, ППП 36 – умеренного. В качестве опорных и фоновых выбраны еловые насаждения (ППП 4 и 38), произрастающие в 50 км от источника загрязнения на территории Ляльского лесоэкологического стационара. Подбор и закладку экспериментальных участков, а также обработку полученных материалов проводили с использованием [10, 15].



Ельники черничные произрастают на типичных подзолистых суглинистых почвах. Древостои спелые, невысокой продуктивности, разновысотные, но ярусность не выражена. Древесный ярус образует в основном ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). В составе древостоев часто присутствуют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth), реже – осина (*Populus tremula* L.) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.).

Определение жизненного состояния деревьев ели в древостоях проводили согласно [20]. Число учтенных экземпляров на пробных площадях варьирует от 114 до 287 шт., ель составляет 50...90 % от общего количества. Внешний вид дерева определяется совокупностью признаков, каждый из которых может быть достаточен для оценки поврежденности, однако наиболее информативны показатели состояния ассимиляционного аппарата. С помощью бинокля БПЦ 2 (12 × 45М) с расстояния, равного высоте дерева, у всех живых деревьев на ППП в баллах (от 0 до 3) оценивали степень дехромации (изменение цвета) хвои и дефолиации (потеря хвои) кроны. По степени дефолиации и дехромации хвои деревья распределяли на пять классов, используя следующую шкалу: 0 – < 10 %; 1 – 11...25 %; 2 – 26...60 %; 3 – 61...99 %; 4 – 100 %. Кроме этого, учитывали количество сухих сучьев в кроне дерева (0 – < 10 %; 1 – 11...25 %; 2 – 26...50 %; 3 – 51...99 %) и состояние вершины дерева (0 – живая; 1 – поврежденная; 2 – усыхающая; 3 – сухая). Оценив каждое дерево по комплексу вышеуказанных параметров, относили его к определенному классу повреждения:

0 класс – здоровое дерево, не имеет внешних признаков повреждения кроны и ствола, любые повреждения хвои (составляют < 10 % по отношению ко всей массе ассимиляционного аппарата) не отражаются на его состоянии;

1 класс – слабо поврежденное дерево (повреждения по одному или сумме всех признаков составляют 11...25 %);

2 класс – средне поврежденное дерево (26...60 % повреждений);

3 класс – сильно поврежденное (отмирающее) дерево (61...99 % повреждений);

4 класс – отмершее дерево (100 % повреждений).

Жизненное состояние древостоев оценивали с помощью индекса средневзвешенного класса повреждения составляющих древостой деревьев [1]:

$$I = \sum_{i=0}^4 i \cdot w_i / W,$$

где  $I$  – индекс жизненного состояния древостоя, балл;

$i$  – индекс поврежденности деревьев, балл;

$w$  – статистический вес деревьев  $i$ -го класса повреждения;

$W$  – сумма статистических весов.

По величине индекса состояния древостои классифицировали на здоровые (индекс 0...0,5), ослабленные (0,6...1,5), сильно ослабленные (1,6...2,5), отмирающие (2,6...3,5) и сухостой (> 3,6).

Состояние древесных пород оценивали по таким показателям, как дефолиация и дехромация. Первый из них является более отдаленным во времени итогом многолетнего влияния неблагоприятных факторов. Оценка устойчивости растений по степени дефолиации хвои достаточно объективна. Она характеризует состояние древостоя в текущем вегетационном периоде и может быть использована для оперативного экологического контроля структуры за более короткий период времени [2, 8, 12].

Анализ *дефолиации кроны* деревьев на фоновых участках выявил, что насаждения состоят в основном из деревьев ели и сосны 0-го класса: соответственно в среднем 77 и 88 % от общего количества (рис. 1). Здоровых елей по данному показателю на 11 % меньше, чем сосен. Количество елей 1-го класса повреждения почти в 2 раза больше, елей и сосен 2-го класса повреждения примерно одинаково – 3...4 %. Деревья с потерей хвои от 61 до 100 % практически отсутствуют. В еловых фитоценозах на загрязненной техногенными выбросами территории здоровых по признаку дефолиации деревьев ели и сосны в среднем соответственно на 30 и 40 % меньше, чем в насаждениях фоновых участков. В загрязненных фитоценозах основную часть древостоя представляют деревья 1-го класса повреждения: елей и сосен соответственно 53 и 55 %. К среднеповрежденным относятся 16 % елей и 5 % сосен. Увеличение дефолиации кроны хвойных деревьев на опытных участках объясняется прежде всего снижением продолжительности жизни хвои. Так, если на фоновой территории средний возраст хвои сосны составляет в среднем 6 лет, а в зоне действия выбросов – 5 лет, то для хвои ели – соответственно в среднем 11 и 9 лет. Следовательно, по показателю дефолиации сосна менее чувствительна, чем ель.

Обследование жизненного состояния ели и сосны по степени *дехромации хвои* показало, что на пробных площадях фонового района преобладают здоровые деревья, составляющие в среднем 93 и 88 % от общего количества (рис. 1). Сравнительно немного деревьев, имеющих 10...25 % пожелтевшей хвои в кроне (1 класс повреждения): 8 % елей и 12 % сосен. Единично присутствуют сосны 2-го класса повреждения (25...60 % пожелтевшей хвои). Деревья 3-го и 4-го классов повреждения по данному показателю отсутствуют. На участках, расположенных в зоне действия ОАО «Монди СЛПК», здоровых деревьев ели и сосны несколько меньше: в среднем 79 и 76 % от общего количества. На деревья 1-го класса повреждения приходится около 22 %. Выявлено всего 1 % елей 2-го класса повреждения по данному показателю. Деревья 3 и 4-го классов, как и на фоновой территории, отсутствуют. Следует отметить, что по показателю дехромации реакция на загрязнение у ели и сосны примерно одинаковая.

Распределение деревьев по *количеству сухих ветвей* показало, что в ельниках черничных, произрастающих на фоновой территории, основу насаждений составляют деревья 0-го класса (сухих ветвей в кроне < 10 %): в среднем 73 % елей и 87 % сосен (рис. 2). На долю ели и сосны 1-го класса повреждения (10...25 % сухих ветвей) приходится соответственно 21 и 9 % от общего количества. Деревья ели и сосны 2-го класса повреждения

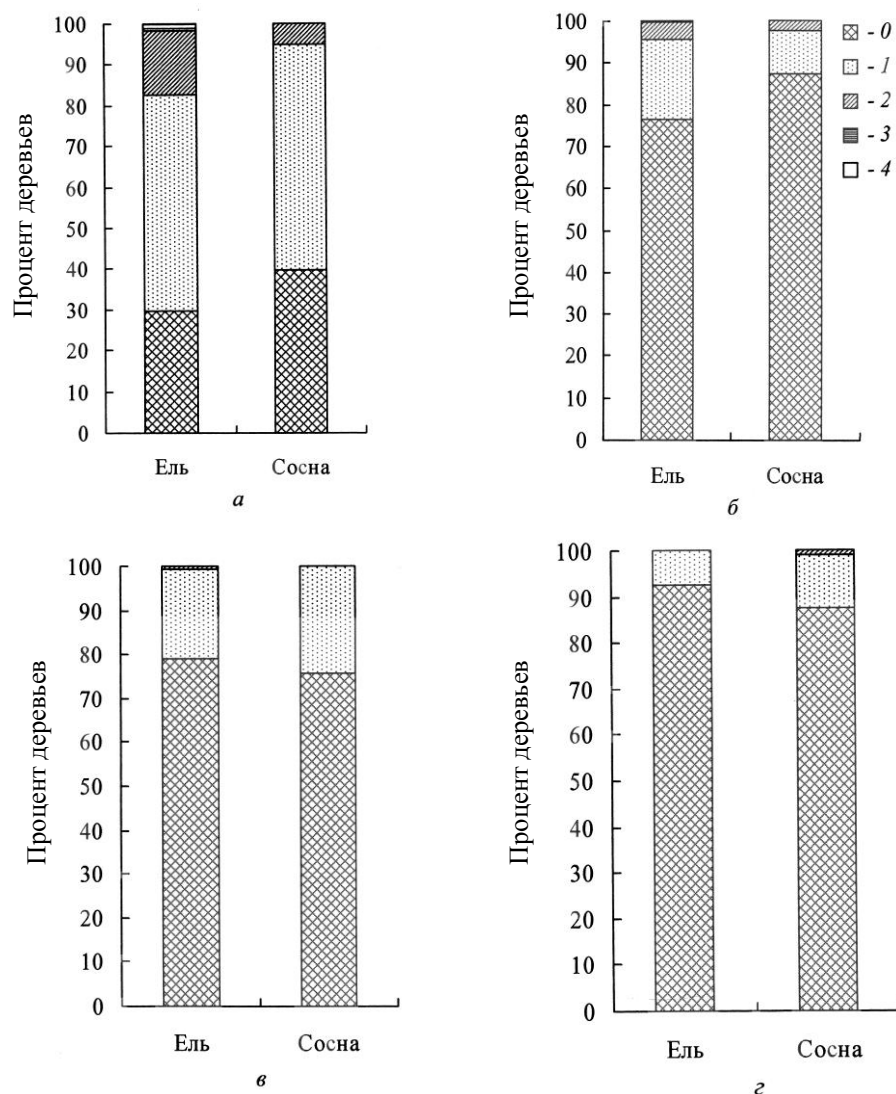
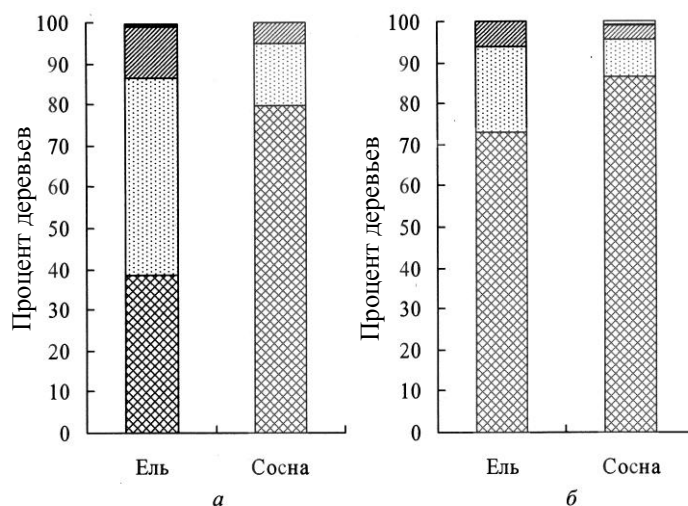


Рис. 1. Средневзвешенный класс дефолиации крон (а, б) и дехромации хвои (в, г) деревьев в ельниках на загрязненной (а, в) и фоновой (б, г) территориях (0, 1, 2, 3, 4 – классы повреждения деревьев)

(25...60 % сухих ветвей) составляют 6 и 4 % соответственно. На территории, подверженной влиянию поллютантов, здоровых деревьев ели по количеству сухих ветвей значительно (на 39 %) меньше, чем в насаждениях фонового района. При этом на долю сосны с поврежденными ветвями приходится 80 %. Значительную часть деревьев древостоев опытных участков составляют ели 1-го класса повреждения. К среднеповрежденным относятся 13 % елей и 5 % сосен от общего количества. По такому показателю, как наличие сухих ветвей в кроне, более чувствительной является ель.

Рис. 2. Распределение деревьев по классам повреждения в зависимости от количества сухих ветвей в кроне в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (см. обозначения на рис. 1)



Обследование всех живых деревьев на *суховершинность* выявило, что ели и сосны с живой верхушечной почкой являются основой контрольных древостоев: в среднем 91 и 93 % от общего количества соответственно (рис. 3). Деревья ели с усыхающей и поврежденной вершиной составляют 8 %, сосны – 7 %. В ельниках черничных, растущих в зоне действия выбросов ОАО «Монди СЛПК», количество деревьев ели с неповрежденной вершиной несколько меньше, чем в фоновом районе: 83 %. Число здоровых сосен в фоновом районе и в зоне действия комбината практически одинаковое. Отсутствуют сосны с усыхающей и поврежденной вершиной.

Анализ распределения деревьев по классам повреждения показал, что насаждения на контрольных участках состоят в основном из здоровых деревьев ели и сосны (рис. 4). При этом здоровых елей в среднем на 20 % меньше, чем сосен. Количество елей 1- и 2-го классов повреждения больше, чем сосен. Доля отмирающих и отмерших деревьев ели и сосны примерно одинакова.

Рис. 3. Распределение деревьев по классам повреждения в зависимости от состояния вершины в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (0 – здоровая, 1 – сломанная, 2 – усыхающая, 3 – поврежденная вершина)

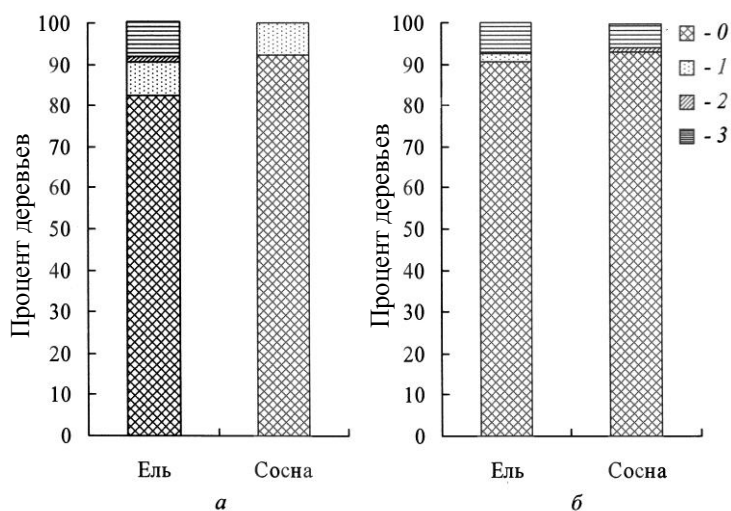
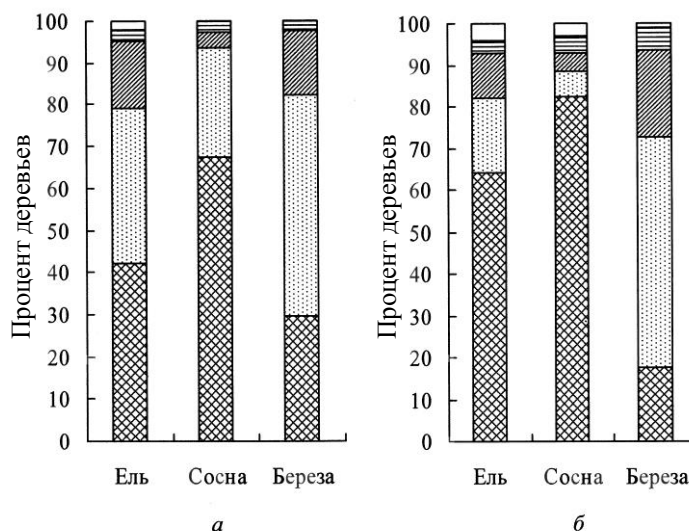


Рис. 4. Распределение деревьев по классам повреждения в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (см. обозначения на рис. 1)



Количество здоровых берез в среднем 18 %. Основная часть берез приходится на деревья 1- и 2-го классов повреждения и составляет соответственно 55 и 21 % от общего количества. На загрязненной территории здоровых деревьев ели и сосны меньше, чем в насаждениях фоновой территории: в среднем 42 и 67 % соответственно. На долю берез 0-го класса приходится 30 % от их общего количества. К слабо поврежденным могут быть отнесены 37 % елей, 26 % сосен и 53 % берез от их общего количества. Средне и сильно поврежденных сосен всего 4 и 3 % соответственно. На долю 2-го класса повреждения как елей, так и берез приходится в среднем 16 %. Следует отметить, что во всех исследуемых древостоях на фоновой и загрязненной территориях меньше всего повреждается сосна, более уязвимыми являются береза и ель. Это объясняется разной чувствительностью их к эмиссии вредных веществ (см. табл. 1). Известно, что в спелом возрасте адаптивный потенциал сосны и ели к условиям атмосферного загрязнения определяется как природой загрязнителей, так и условиями произрастания [16, 18].

В табл. 1 представлены рассчитанные на основе распределения деревьев по состоянию интегральные классы повреждения еловых древостоев. По индексу поврежденности древостои исследуемых насаждений характеризуются как ослабленные:  $i_{cp} = 0,87$ . Только древостой на ППП 38, расположенный в фоновом районе, характеризуется как здоровый.

Таким образом, в зоне аэротехногенного загрязнения выбросами целлюлозно-бумажного производства происходит повреждение деревьев, составляющих древостои. В этой зоне процент здоровых деревьев в среднем на 20 меньше, чем в фоновом районе. Используемые нами индикаторные показатели, характеризующие влияние выбросов комбината на состояние древесных растений, показали, что ель и береза более подвержены аэротехногенному загрязнению целлюлозно-бумажного производства.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.С.* Мониторинг лесных экосистем [Текст] / А.С. Алексеев. – СПб.: ЛТА, 1997. – 116 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем [Текст]. – М.: Мир, 1988. – 348 с.
3. *Бобкова, К.С.* Состояние лесов в зоне влияния Сыктывкарского лесопромышленного комплекса [Текст] / К.С. Бобкова, Ю.А. Паутов, Н.А. Терещук // Лесн. журн. – 1997. – № 5. – С.84–88. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Влияние загрязнений воздуха на растительность [Текст]. – М.: Лесн. пром-ть, 1981. – 184 с.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2006 году» [Текст]. – Сыктывкар, 2007.
6. *Илькун, Г.М.* Газоустойчивость растений [Текст] / Г.М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1971. – 146 с.
7. *Илькун, Г.М.* Загрязнение атмосферы и растения [Текст] / Г.М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1978. – 249 с.
8. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение [Текст] / В.А. Алексеев [и др.]. – Л.: Наука, 1990. – С. 38–53.
9. Лесные экосистемы в зоне действия крупных лесопромышленных производств // Освоение Севера и проблемы рекультивации [Текст]. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1996. – С.16–18.
10. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР) [Текст] / сост. Г.С. Войнов. – Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. – 558 с.
11. *Меншиков, С.Л.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения и пути снижения наносимого ущерба [Текст]: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук / С.Л. Меншиков. – Екатеринбург, 2004. – 43 с.
12. Методические указания по оценке жизненного состояния сосны, ели и березы [Текст]. – Каунас, 1987. – 32 с.
13. *Моложавский, А.А.* Динамика состояния древостоев в 1992–2000 гг. в буферной зоне нефтепромышленного комплекса [Текст] / А.А. Моложавский. – Режим доступа: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2001/les\\_2001/molojavsky.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2001/les_2001/molojavsky.htm).
14. *Рожков, А.А.* Устойчивость лесов. [Текст] / А.А. Рожков, В.Т. Козак. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
15. *Третьяков, Н.В.* Лесная таксация [Текст] / Н.В. Третьяков. – Л., 1957. – 300 с.
16. *Цветков, В.Ф.* Лес в условиях аэротехногенного загрязнения [Текст] / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
17. Экологический отчет 2006 ОАО «Mondi business paper Сыктывкарский ЛПК» [Текст]. – Сыктывкар, 2006.
18. *Ярмишко, В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере [Текст] / В.Т. Ярмишко. – СПб., 1997. – 210 с.
19. *Kenneweg, H.* Monitoring forest damage. Influences of forest damage on forestry and timbertrade 3. Berichte des Forschungszentr. Waldokosysteme / Waldserben. Conference: LIGNA (15 May 1985, Hannover) [Text] : Proc. / H. Kenneweg. – 1985. – P. 38–63.

20. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest [Text]. – Hamburg, Prague, 1994. – 177 p.

Поступила 05.12.08

*E.A. Robakidse, N.V. Torloпова, K.S. Bobkova*

Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of Russian Academy of Sciences

**Wooden Plants State of Spruce Phytocenoses in Zone of Aerotechnogeneous Effect of Pulp-and-paper Production**

It is established under the comparative analysis of spruce, pine and birch state of spruce phytocenoses in the conditions of PPM emissions' pollution that a number of healthy trees is on average 20% less in the mill operation zone than in the background zone, whereas birch and spruce are more vulnerable as far as needles and crown are concerned.

Keywords: monitoring, spruce stands, vital state, defoliation, dechromation, classes of damage, indices of damage.

---

Таблица 2

## Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев еловых лесов

Номер ППП	Расстояние от ОАО «Монди СЛПК», км	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Число деревьев, шт./га	Общий запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бони- тета	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Индекс поврежден- ности
				высота, м	диаметр, см					
Зона действия выбросов ОАО «Монди СЛПК»										
37	3,5	6Е2Б2С	97...187	15,0	15,0	1838	320	V	22,4	0,72
33	4,3	9Е1Б+Пх	105...235	15,5	19,0	1666	303	V	36,7	0,97
35	5,3	6Е2Б2С	85...155	14,1	15,0	1933	289	V	21,0	0,70
36	10,0	6Е2С1Б1Ос	77...127	15,2	16,0	1733	365	IV	24,7	1,10
Фоновый район										
4	50,0	3Е3С3Ос1Б	77...97	16,3	16,5	1196	372	IV	12,0	0,80
38	50,0	7Е3Б+С,Пх	95...175	18,3	22,0	891	311	IV	22,0	0,49

Примечание. Тип леса – черничный.