

ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ УСТЬЯ И ДЕЛЬТЫ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 2009 С.Н. Тарханов

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Изучена пространственная динамика поврежденности хвойных древостоев в северотаежных лесах устья и дельты Северной Двины, подверженных атмосферному загрязнению Архангельской агломерации. Показано влияние промышленных эмиссий и лесорастительных условий на состояние древостоев сосны и ели. Выявлена более значительная поврежденность сосняков сфагновой и долгомошной групп типов леса, особенно по юго-восточному румбу от «высоких» источников выбросов: теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) и др. Состояние ельников лучше и почти не выходит за пределы категории «неповрежденные».

Ключевые слова: хвойный древостой, атмосферное загрязнение, промышленная эмиссия

Для классификации нарушенных экосистем большинство авторов проводит зонирование территории по степени аэротехногенного загрязнения, как правило, связывая зоны с расстоянием от источника выбросов, например, в Мурманской области выделяли от трех до семи зон деградации лесов [3, 4, 7, 11, 19-21]. Подход к типизации техногенно нарушенных экосистем методом зонирования предлагался в руководящих документах ЮНЕП [22], в которых выделено три основных зоны: фоновая, буферная и импактная. Такое деление использовалось системой Госкомгидромета СССР [8].

В зарубежных исследованиях лесных экосистем часто используется градиентный подход (*gradient studies*), основанный на выборе объектов исследований по градиентам концентраций загрязняющих веществ в различных компонентах окружающей среды (атмосфере, почве, водах) [23, 24]. Однако при детальном анализе зон, выделяемых на лесных территориях, и объектов, расположенных по градиентам загрязнения атмосферы, обнаруживается, что в одной и той же зоне и при сходных характеристиках загрязнения атмосферы формируются леса различного жизненного состояния. На лесных территориях наблюдается мозаика стадий дигрессионных и демулационных сукцессий, обусловленных

исходной вариабельностью внешних параметров (геофитологического положения, состава почвообразующих пород) и одновременно действием различных антропогенных факторов (не только загрязнения, но и рубок, пожаров и т.д.).

Объекты и методика. Исследования проведены на временных и постоянных пробных площадях в северотаежных лесах устья и дельты Северной Двины, подверженных аэротехногенному загрязнению промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики Архангельской агломерации. Краткая лесоводственно-таксационная характеристика изучаемых участков в северотаежной подзоне приведена в табл. 1.

Закладка пробных площадей осуществлялась в соответствии с принятыми в лесоустроительной практике стандартами [12]. При лесоводственно-геоботанической и таксационной характеристике пробных площадей руководствовались общепринятыми методами [2, 10, 13, 16]. Оценку состояния деревьев проводили методом непрошедшей ходовой линии по категориям (классам) повреждения согласно [14, 15], а древостоев в целом для отдельных пород – по формуле [20]:

$$I = \left(\sum_{i=1}^6 iW_i \right) W^{-1}; \quad (1)$$

где I – индекс повреждения древостоя; i – номер класса повреждения, баллы, от 1 до 6; W_i – статистический вес деревьев i -го класса повреждения; W – сумма статистических весов (численность, запас деревьев).

Тарханов Сергей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экологической биологии. E-mail: tarkse@yandex.ru

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика опытных участков

Группа типов леса	Кол-во пробных площадей	Расстояние до источника выбросов, км	Класс бонитета	Класс возраста	Полнота древостоя
Сосновые леса					
зеленомошная	21	5-90	IV	III-VI	0,7-0,8
долгомошная	10	8-70	IV-V	IV-VI	0,5-0,8
травяная	3	7-50	IV	IV-VI	0,6-0,8
сфагновая	43	1-60	V-Vб	IV-VII	0,4-0,6
Еловые леса					
зеленомошная	20	5-120	III-IV	IV-VIII	0,6-0,8
долгомошная	10	5-70	IV-V	VI-VIII	0,6-0,7
травяная	4	3-30	IV-V	V-VIII	0,7

В качестве статистических весов деревьев разных классов повреждения использовали численность деревьев. При классификации категорий состояния древостоев северной подзоны тайги в действующую общепринятую шкалу были внесены региональные коррективы [11]. Рассчитывали плотность повреждения древостоев (ρ_i) по формуле [1]:

$$\rho_i = \frac{I_i}{\sum I_i}; \quad (2)$$

где I_i – индекс состояния (средний класс повреждения деревьев) древостоев i -ой пробной площади.

Рассчитывали также показатель энтропии, характеризующий меру разнообразия состояния деревьев и отражает степень дифференциации статистических весов деревьев по классам (категориям) повреждения. Расчет проводили по формуле Шеннона:

$$H' = -\sum_{i=1}^6 p_i \ln p_i; \quad (3)$$

где H' – индекс разнообразия, p_i – вероятность распределения статистических весов деревьев по каждому из 6-и классов повреждения. При этом $\sum p_i = 1$. Пространственные поля локального и регионального атмосферного загрязнения в Северо-Двинском бассейне определены нами ранее [9, 18].

Результаты и обсуждение. Численность здоровых деревьев наиболее дифференцирована в сосновых лесах в зависимости от степени атмосферного загрязнения и естественных условий их произрастания (рис. 1). Особо следует выделить зону, преимущественно в городских и пригородных лесах вблизи Архангельска, с низкой частотой встречаемости в древостоях (до 25%) неповрежденных деревьев. Численность здоровых деревьев ели в древостоях городских и пригородных лесов Архангельской агломерации значительно выше (до 40%). По величине интегрального показателя состояния (индекса повреждения) сосновые древостои в районе Архангельской агломерации относятся к категории «слабо поврежденные». Жизненное состояние еловых лесов лучше и почти не выходит за пределы категории «не поврежденные» (рис. 2).

Сосновые насаждения, произрастающие в юго-восточном направлении по отношению к так называемым «высоким» источникам интенсивных выбросов в атмосферу (с высотой дымоотводящих труб более 100 м), прежде всего ТЭЦ, ЦБК, имеют наибольшие индекс и относительную плотность повреждения древостоев. Показатель энтропии распределения деревьев разных категорий состояния в древостоях сосны имеет наибольшее значение в южном, а наименьшее – в северном направлениях (табл. 2). Более высокие значения индекса плотности и энтропии повреждения характерны для сфагновой и долгомошной групп типов сосновых лесов, далее по убыванию следуют зеленомошные и травяные сосняки (табл. 3).

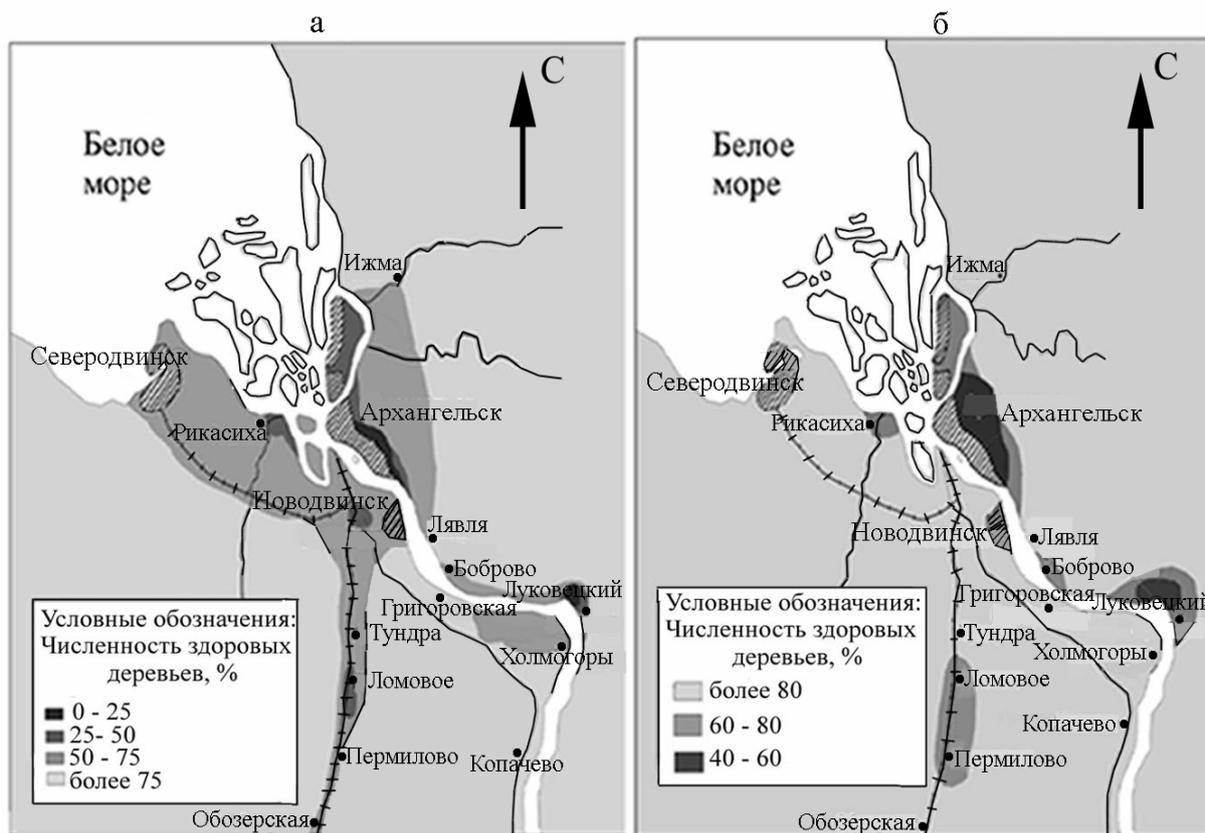


Рис. 1. Численность здоровых деревьев (%) в древостоях сосны (а) и ели (б)

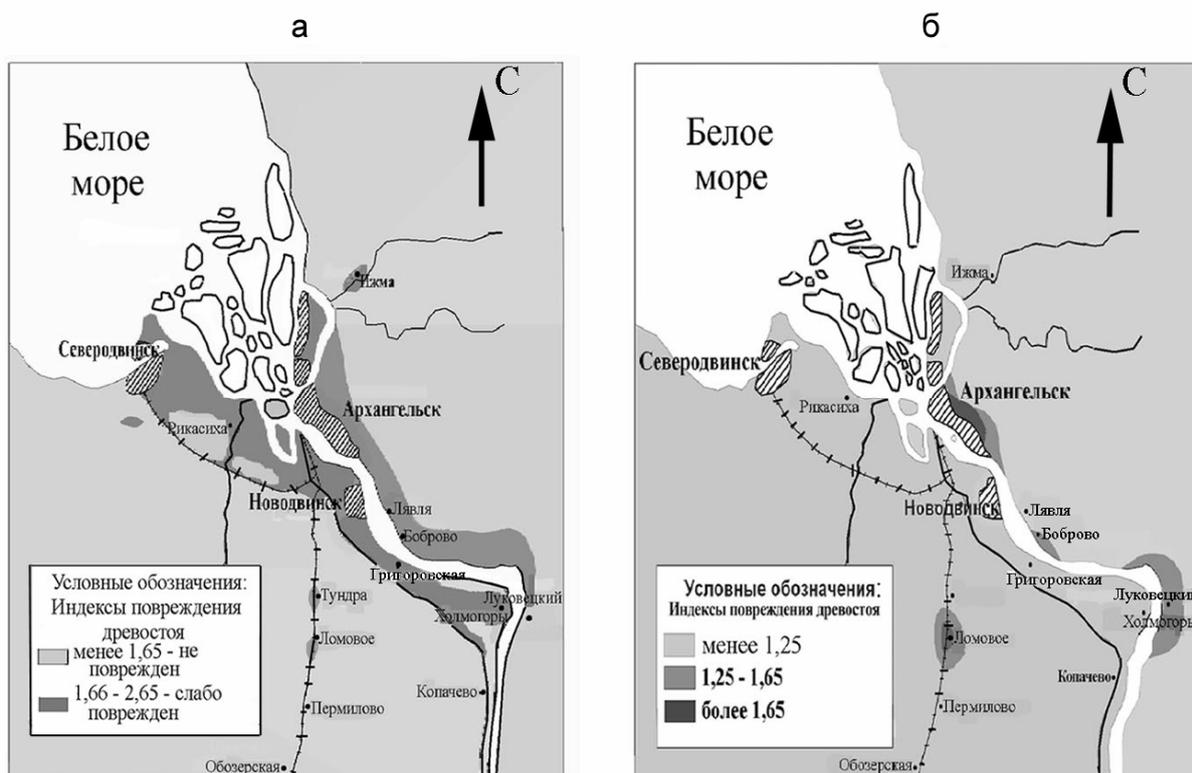


Рис. 2. Интегральные показатели повреждения древостоев сосны (а) и ели (б)

Показатели энтропии, индекса состояния и плотности повреждения еловых древостоев по румбам различаются слабо (табл. 4), а по группам типов леса почти не различаются (табл. 5).

Таблица 2. Поврежденность сосновых древостоев на различных румбам

Румб	Расстояние до «высокого» источника эмиссий, км	N	I	p_i	H' , нит
Ю-В	1-70,0	36/30*	1,87	0,018	1,03
С-В	4-18,5	12/12	1,67	0,017	1,04
З	5-15	6/6	1,67	0,016	1,01
С	7	1/1	1,15	0,011	0,45
Ю	44,5-90	4/3	1,71	0,017	1,12
Ю-З	1-13,5	3/3	1,60	0,016	0,89

Примечание: в табл. 2 – 5 * – число пробных площадей, по которым рассчитывали показатели энтропии, N – число пробных площадей.

Таблица 3. Поврежденность сосновых древостоев разных групп типов леса

Группа типов леса	Расстояние до «высокого» источника эмиссий, км	N	I	p_i	H' , нит
сфагновая	1-52	33/30*	1,92	0,018	1,07
долгомощная	5,5-70	10/9	1,95	0,019	1,15
травяная	6,5-50	3/3	1,39	0,013	0,69
зеленомощная	5-90	16/13	1,52	0,016	0,87

Таблица 4. Поврежденность еловых древостоев по различным румбам

Румб	Расстояние до «высокого» источника эмиссий, км	N	I	p_i	H' , нит
Ю-В	8-70	13	1,33	0,041	0,64
В	10,5	1	1,22	0,037	0,58
С-В	5-18	5	1,14	0,035	0,46
З	5	1	1,15	0,035	0,44
С-З	14	1	1,05	0,032	0,21
С	7,5	1	1,08	0,033	0,27
Ю	45-110	4	1,28	0,039	0,49

Таблица 5. Поврежденность еловых древостоев разных групп типов леса

Группа типов леса	Расстояние до «высокого» источника эмиссий, км	N	I	p_i	H' , нит
зеленомощная	5-52	14	1,29	0,039	0,56
долгомощная	5-70	9	1,19	0,036	0,51
травяная	5,5-110	3	1,29	0,040	0,47

Статистический анализ. Проверка нулевой гипотезы при однофакторном дисперсионном анализе (ОДА) [6] зависи-

мости индекса и плотности повреждения древостоев от расстояния до «высоких» источников эмиссии нашла подтверждение

($F < F_{0,05}$) в отношении сосновых древостоев сфагновой и зеленомошной групп типов леса и отрицание ($F > F_{0,05}$) – в отношении сосняков долгомошной группы. Следовательно, расстояние до источников атмосферного загрязнения оказывает систематическое действие на индекс и плотность повреждения сосновых древостоев только в долгомошной группе типов леса (ОДА, $F=5,86-6,52$, $P=0,03$, показатель силы влияния – $\eta^2=0,65-0,87$).

Влияние типа леса в выборочном комплексе: сосняки кустарничково-сфагновые (сфагновая группа), черничные влажные (долгомошная группа), черничные свежие, чернично-брусничные и брусничные (зеленомошная группа) на состояние древостоев (I , p_i , H') достоверно на всех уровнях значимости (ОДА, $P < 0,001$, $\eta^2=0,19-0,27$).

Дисперсионный анализ не выявил влияния расстояния до источников эмиссий на индекс, плотность и энтропию повреждения древостоев ели зеленомошной и долгомошной групп типов леса на принятых уровнях значимости (ОДА, $F < F_{0,05}$). Следовательно, при существующем уровне атмосферного загрязнения различия в жизненном состоянии древостоев ели в настоящее время не проявляются. Значимые различия в состоянии древостоев ели, преимущественно ельников черничных свежих и влажных, близких между собой по условиям произрастания, отсутствуют (ОДА, $F < F_{0,05}$). Следовательно, для еловых лесов изменчивость поврежденности древостоев в северной тайге устья и дельты Северной Двины носит случайный характер в отношении двух независимых друг от друга факторов – техногенного (расстояние до источников эмиссий) и лесорастительного (близкие друг к другу типы леса).

Выводы:

1. Жизненное состояние сосновых насаждений при атмосферном загрязнении ухудшается в условиях избыточного увлажнения почв, т.е. в неблагоприятных условиях произрастания. Ельники, произрастающие в устье и дельте Северной Двины в более благоприятных почвенно-гидрологических условиях, в меньшей мере подвержены влиянию атмосферных эмиссий. Сильнее повреждены сосновые и еловые древостои, произрастающие в юго-восточном направлении от «высоких» источников интенсивных выбросов.

2. Сложность оценки пространственного изменения повреждения хвойных ле-

сов устья и дельты Северной Двины вследствие аэротехногенного воздействия определяется тем, что здесь на ограниченном пространстве действует целый комплекс крупных народнохозяйственных объектов, а не отдельные источники интенсивных выбросов, вокруг которых было бы удобно выстраивать изолинии состояния древостоев. При этом важное значение имеют лесорастительные условия и сопутствующее атмосферному загрязнению влияние других антропогенных факторов (рубок, пожаров, и др.). Неоднородность зон поврежденности проявляется и в возрастной структуре хвойных насаждений. В связи с этим, в зонах с различным уровнем аэротехногенного воздействия категории состояния древостоев могут существенно варьировать [17]. Все это создает пестроту, мозаичность лесных ландшафтов в отношении состояния насаждений, а следовательно, затрудняет пространственное выделение зон техногенной нарушенности лесных насаждений с целью проведения соответствующих природоохранных и лесохозяйственных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алексеев, А.С. Закономерности пространственного размещения поврежденной растительности при региональном и локальном загрязнении атмосферы (на примере импактной зоны) ГМК «Печенганикель» / А.С. Алексеев, Р.Р. Жеребцов // Экология. – 1995, № 6. – С. 428-435.
2. Анучин, Н.П. Лесная таксация. 5-е изд. // М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
3. Болтнева, Л.И. Прогностическая модель повреждения растительности промышленными выбросами в атмосферу / Л.И. Болтнева, А.А. Игнатьева, Р.Т. Карabanь и др. // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Таллин: Изд-во АН СССР, 1982. Ч. II. – С. 163-173.
4. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Под ред. Б.Н. Норина и др. // Л.: БИН АН СССР, 1990. – 195 с.
5. Ганичева, С.Н. Техногенная дигрессия и восстановительная сукцессия в хвойных лесах Кольского полуострова / С.Н. Ганичева, Н.В. Лукина, В.А. Костина, В.В. Никонов // Лесоведение. – 2004, № 3. – С. 57-67.
6. Третьяков, А.М. Дисперсионный анализ / А.М. Третьяков, А.А. Бахтин, Н.С. Минин // Архангельск: АИЛиЛХ, 1988. – 40 с.

7. Дончева, А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности // М.: Лесная промышленность, 1978. – 96 с.
8. Израэль, Ю.А. Осуществление в СССР системы мониторинга загрязнения природной среды / Ю.А. Израэль, Н.К. Гасилина, Ф.П. Ровинский, Л.М. Филинкова // Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 115 с.
9. Изучение состояния и биоиндикация загрязнений наземных и водных экосистем устьевой области Северной Двины: Отчет о НИР (заключ.) / Руков. С.Н. Тарханов. № ГР 01.9.50.004396. Инв. № 02.200. 1 07 101. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2000. – 616 с.
10. Лесотаксационный справочник для северо-востока Европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. – 357 с.
11. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области. Цветков, В.Ф. // Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. – 18 с.
12. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. ЦБ НТИ Гослесхоза СССР. 1983. – 14 с.
13. Полевая геоботаника // М.-Л.: Наука, 1964. – 531 с.
14. Санитарные правила в лесах Российской Федерации // М.: Экология, 1998. – 20 с.
15. Санитарные правила в лесах СССР // М.: Гослесхоз, 1970. – 16 с.
16. Сукачев, В.Н. Методические указания к изучению типов леса / В.Н.Сукачев, С.В. Зонн // М.: АН СССР, 1961. – 144 с.
17. Тарханов, С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения // Лесное хозяйство. – 2004, № 4. – С. 18-20.
18. Тарханов, С.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния / С.Н. Тарханов, Н.А. Прожерина, В.Н. Коновалов // Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. – 333 с.
19. Цветков, В.Ф. Повреждение лесов промышленными выбросами медно-никелевого комбината в Мурманской области // Проблемы лесоведения и лесной экологии. М., 1990. – С. 618-621.
20. Цветков В.Ф. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков // Архангельск, 2003. – 354 с
21. Черненькова, Т.В. Фитоценотические исследования ельников кустарничко-зеленомошных в окрестностях Мончегорского металлургического комбината // Лесоведение. – 1995, № 1. – С. 57-65.
22. Global environmental monitoring system (GEMS). SCOPE Report 3. Canada, 1973. – 74 p.
23. Steinnes, E.A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola peninsula / E. Steinnes, N. Lukinoc, V. Nikonov et al. // Environmental Monitoring and Assessment. – 2000, V. 60. – P. 71-88.
24. The Lapland Forest Damage Project. Russian – Finnish cooperation reported / Ed. Deromej. Rovaniemi Reseach Station, 1993. – 150 p.

DAMAGED CONIFEROUS FOREST STANDS OF NORTHERN DVINA MOUTH AND DELTAS IN CONDITIONS OF ATMOSPHERIC POLLUTION

© 2009 S.N. Tarhanov

Institute of ecological problems of North Ural Branch of Russian Academy of Sciences

Spatial dynamics of coniferous forest stands damage in northern taiga woods of Northern Dvina mouth and delta, subjected to atmospheric pollution of the Arkhangelsk agglomeration is studied. Influence of industrial emissions and forest vegetation conditions on a condition of pine and a fur-tree forest stands is shown. More significant is revealed damage of pine forests sphagnum and dry moss groups of wood types, especially on a southeast point from "high" sources of emissions: thermal power stations, pulp-and-paper combines, etc. Condition of fir groves better and almost does not fall outside the limits a category "intact".

Key words: coniferous forest stand, atmospheric pollution, industrial emission

*Sergey Tarhanov, Candidate of Agriculture,
Head of the Laboratory of Ecological Biology.
E-mail: tarkse@yandex.ru*