

Секция 1.

Экологические проблемы техногенного воздействия на экосистемы Севера

УДК 502.3:504.5:669.2/.8+630*18

**ИЗМЕНЕНИЕ СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ
УСЛОВИЙ ЭКОТОПА****Бергман И.Е., Воробейчик Е.Л., Жданова Т.Ю.***Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург,
e-mail: 5554505@mail.ru; ev@ipae.uran.ru*

Исследовано распределение деревьев по категориям крупности в районе Карабашского медеплавильного завода в двух контрастно различающихся уровнем атмосферного загрязнения зонах (фоновой и импактной), в каждой зоне – четыре варианта экотопа (сосновый, березовый, пойменный лес, березовая редица). Доля деревьев высоких ступеней толщины (>20 см) в сосновых и березовых древостоях в импактной зоне ниже, чем в фоновой, в поймах ситуация противоположна. Строение березовых редиц по зонам загрязнения не различается.

Ключевые слова: атмосферное загрязнение, древостой, категория крупности, экотоп, медеплавильный завод**STANDSTRUCTURE CHANGE UNDER THE INFLUENCE OF AIR POLLUTION:
MODIFYING EFFECT OF THE ECOTOPE CONDITIONS****Bergman I.E., Vorobeichik E.L., Zhdanova T.Y.***Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg,
e-mail: 5554505@mail.ru; ev@ipae.uran.ru*

Distribution of trees by stem diameter was studied in two areas with contrast levels of air pollution (background and impact) near the Karabashsky copper smelter. Four ecotopes (pine, birch, floodplain forests, birchlight forest) were examined in each area. Proportion of trees with high steps of thickness (> 20 cm) in pine and birch stands is lower in impact zone as compared with background, in floodplains situation is opposite. The structure of birch openforest does not differ by zones of pollution.

Keywords: air pollution, forest stand, stem diameter, ecotope, copper smelter

Распределение деревьев по размеру – один из наиболее изученных вопросов лесной таксации; оно очень информативно для характеристики жизненного потенциала лесного сообщества – как в статике, так и в динамике [9]. В настоящее время накоплен значительный материал по строению хвойных древостоев в условиях атмосферного загрязнения [9, 8 и др.]. В то же время работы, касающиеся влияния загрязнения на строение лиственных древостоев единичны [2], а для пойменных биотопов – вообще отсутствуют.

Как правило, для изучения функционирования лесных экосистем в условиях промышленного загрязнения выбирают участки со сходными лесорастительными условиями, доминирующими в регионе. Однако в реальности исследуемые территории представляют собой мозаику разнообразных биотопов [6]. Цель настоящей работы – установить насколько различаются перестройки в строении древостоев под действием загрязнения в различных вариантах экотопов. В ходе работы проверяли рабочую гипотезу, заключающуюся в предположении, что строение древостоев (т.е. распределение деревьев по категориям

крупности) изменяется однонаправлено (в сторону уменьшения доли деревьев высоких ступеней толщины вблизи источника загрязнения) даже в контрастно различающихся вариантах экотопических условий. Данная гипотеза базируется на хорошо документированных фактах снижения прироста деревьев по диаметру и высоте при увеличении техногенной нагрузки [10 и др.].

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в районе действия Карабашского медеплавильного завода, расположенного в 90 км к северо-западу от Челябинска (Южный Урал) и действующего с 1910 г. – одного из крупнейших в России точечных источников загрязнения среды тяжелыми металлами и сернистым ангидридом. Подробная характеристика района дана в работе [5].

Исследования проводили в 2012 г. на двух участках: с интенсивным техногенным воздействием (импактная зона, 0,5–5 км от завода, обследована площадь около 30 км²) и со слабым загрязнением (фоновая зона, 20–25 км к югу от завода, около 50 км²). В пределах каждого участка выделено по 4 варианта экотопа, различающихся положением в рельефе и характером растительности – типичных для одной зоны и имеющих «аналог» в другой (таблица). В каждом экотопе заложено по три пробные площади (ПП) размером 25x25 м. Для каждой

ПП с помощью нивелира рассчитан ее уклон. Кроны деревьев сфотографированы с использованием камеры Sony CyberShot DSC-H5, на каждой ПП фотографии были сделаны в 7–10 случайных точках, высота расположения камеры – 40–50 см от земли; последующая обработка фотографий с расчетом площади проекций кроны выполнена в пакете SIAMS Photolab (v.4.0.4.x). На каждой ПП выполнен сплошной пересчет деревьев, в который включали особи с диаметром на высоте 1,3 м более 4,5 см; ступень толщины – 1 см. Полученные в результате пересчета диаметры деревьев были сгруппированы в интервалы: I – 4,5–9,5 см; II – 9,5–14,5 см; III – 14,5–19,5 см; IV – 19,5–24,5 см; V – более 24,5 см. Учет растений нижнего яруса осуществляли на 3–0 миниплощадках (размером 1–25 м² в зависимости от экотопа) в пределах ПП. Средний диаметр древостоя рассчитан по формуле: $D_{cp} = 100G/(N(\pi/4))^{0,5}$, где G – сумма площадей сечений стволов, м²/га; N – число стволов, экз./га [7]. На осно-

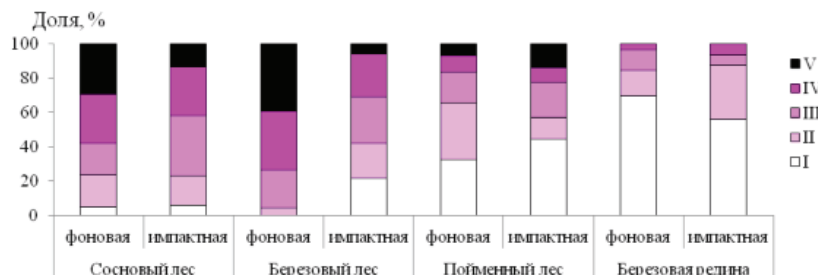
вании данных работ [3, 4], а также с использованием высотомера построены зависимости высоты от диаметра и рассчитаны средние высоты (H_{cp} , м). Запас (M , м³/га) рассчитан по формуле Н.П. Анучина [1]: $M = 10\sum G + 0,4\sum G(H_{cp} - 22)$.

Статистический анализ выполнен в программах STATISTICA v.8.0 и AtteStat (версия от 24.02.13). Структуру древостоя по категориям крупности анализировали с помощью таблиц сопряженности, для оценки различий использовали критерий χ^2 Пирсона. При определении однородности слабонасыщенных таблиц (частоты в некоторых ячейках не превышали 5) использовали диагностику Симонова-Цай, по результатам которой определяли допустимость аппроксимации χ^2 Пирсона. Если возникала проблема с аппроксимацией χ^2 использовали критерий Фримана-Холтона (расширение точного критерия Фишера). Для сравнения средних использовали критерий Манна-Уитни (учетная единица – ПП).

Таксационная характеристика древостоя в разных вариантах экотопов в фоновой и импактной зонах

Показатель	Экотоп и зона загрязнения							
	Сосновый лес		Березовый лес		Пойменный лес		Березовая редица	
Зона	фоновая	импактная	фоновая	импактная	фоновая	импактная	фоновая	импактная
Растительная ассоциация ¹	Разнотравно-злаковая	Вейниково-брусничная	Злаково-разнотравная	Мертво-покровная	Будрово-крапивная ольхово-ветловая	Ольхово-ветловая малиново-крапивная	Болотная березово-осоковая	Болотная ивово-осоково-пушицевая
Уклон ПП, градусы	3,1±2,0	4,7±0,5	5,1±0,3	5,3±0,4	0,7±0,2	0,4±0,1	0,1±0,1	0,5±0,2
Состав древостоя	9С1Б ед.Лц.Ряб	10С ед.Б	9Б1С ед.Ос	10Б ед.С	5Ив4Ол1Чер ед.Б,Бр,Вз,Яб	7Ив2Ол1Б ед.Чер	10Б	8Б2С +Ос.ед.Ел
Класс возраста	V-VII	IV-VII	VII	VII-VIII	III	II-IV	II-IV	II-IX
D_{cp} , см	21,9±1,0	19,6±1,0	24,6±1,3	17,2±2,2	14,7±1,4	19,6±5,6	10,1±1,2	11,9±2,5
H_{cp} , м	21,3±0,6	18,7±0,8	26,6±0,7	20,8±1,5	14,8±0,1	18,2±3,0	10,4±0,4	10,9±3,1
N древостоя экз./га	1014±94	1063±128	773±142	772±115	878±238	321±92	517±201	84±27
N подроста, тыс. экз./га	110,4±30,3	15,3±1,7	0,3±0,1	7,5±1,9	0,1±0,1	1,2±0,7	14,3±5,2	140,0±57,1
N подлеска, тыс. экз./га	15,9±4,5	0,2±0,1	10,5±1,4	0,3±0,2	33,0±23,7	1,0±0,3	0,0	0,0
G , м ² /га	37,7±2,6	31,3±0,4	35,8±2,5	17,2±2,3	14,0±1,8	8,0±1,9	4,1±1,3	0,8±0,2
Проекция кроны, %	68,2±1,2	58,0±0,6	73,9±0,2	41,3±2,2	73,7±8,6	60,5±9,4	17,9±2,5	7,5±2,5
M , м ³ /га	367±28	272±7	422±19	166±30	100±13	72±27	22±7	5±2

¹Данные предоставлены к.б.н. Золотаревой Н.В. Значимые различия ($p < 0.05$) между зонами загрязнения в пределах варианта экотопа выделены жирным шрифтом.



Структура древостоя фоновых и импактных территорий в разных экотопах. Римские цифры – категории крупности

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Распределение деревьев по категориям крупности связана с зоной нагрузки для соснового ($\chi^2(4) = 21,33, p < 0.001$), березового ($\chi^2(4) = 83,47, p < 0.001$), и пойменного ($\chi^2(4) = 11,35, p = 0.023$) древостоев, но не для березовых редиц ($\chi^2(3) = 3,08, p = 0.28$) (см. рисунок). Доля деревьев высоких ступеней толщины (>20 см) в сосновых и березовых древостоях в импактной зоне ниже на 17% и 42% по сравнению с фоновой. Противоположная ситуация наблюдается в пойменных древостоях, где доля деревьев IV и V категории крупности выше (на 6%) у завода, чем на фоновой территории.

В подавляющем большинстве работ зарегистрировано уменьшение запаса древостоя по мере увеличения промышленного загрязнения [3, 4, 9 и др.], что хорошо согласуется с полученными нами данными по всем вариантам экотопов (таблица). В сосновых и березовых насаждениях это снижение произошло за счет уменьшения среднего диаметра древостоев при неизменной густоте, тогда как в пойменном лесу и редице – из-за уменьшения густоты, причем средний диаметр не уменьшился, а даже увеличился. Изменение среднего диаметра – это отражение смещений в структуре древостоя (увеличения/уменьшения доли той или иной категории крупности). Различия в реакциях могут быть связаны с разной устойчивостью древостоев к загрязнению в том или ином варианте экотопа. Логично предположить, что в поймах древостоев более устойчив к загрязнению как из-за промывного режима, препятствующего накоплению металлов, так и большего плодородия почвы. Кроме того в пойменном лесу под действием загрязнения помимо снижения радиального прироста может интенсифицироваться гибель деревьев молодого поколения; в результате в древостое остаются устойчивые, как правило, крупные деревья высоких возрастов, соответственно средний диаметр древостоя увеличивается. Однако нельзя исключать влияния других факторов – как антропогенного (рекреация, выпас скота, рубки, сенокос), так и естественного (повреждение болезнями и вредителями и т.п.) происхождения, интенсивность кото-

рых может быть различна в фоновой и импактной зонах.

Заключение. Исходную гипотезу об уменьшении доли деревьев средних и крупных размеров с увеличением техногенной нагрузки во всех вариантах экотопов следует отвергнуть: это наблюдается в сосновых и березовых древостоях, но не в пойменных лесах и березовых редицах. Хотя сочетание естественных и антропогенных факторов, накладывающихся друг на друга, затрудняет вычленение влияния атмосферного загрязнения на строение древостоя, анализ распределения деревьев по категориям крупности важен для понимания процессов функционирования лесных экосистем в условиях загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Живая природа» (проект 12-П-4-1026) и РФФИ (грант 12-05-00811).

Список литературы

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 550 с.
2. Борисова О.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на хвойные и лиственные древостой в Новгородской обл.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – СПб., 2009. – 20 с.
3. Борников А.В. Биологическая продуктивность березы повислой в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного комбината: Дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2012. – 123 с.
4. Жанабаева А. С. Влияние выбросов Карабашского медеплавильного комбината на биологическую продуктивность сосны обыкновенной: Дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2012. – 118 с.
5. Мухачева С.В., Давыдова Ю.А., Кшняев И.А. Реакция населения мелких млекопитающих на загрязнение среды выбросами медеплавильного производства // Экология. 2010. № 6. – С. 452–458.
6. Мухачева С.В., Давыдова Ю.А., Воробейчик Е.Л. Роль гетерогенности среды в сохранении разнообразия мелких млекопитающих в условиях сильного промышленного загрязнения // ДАН. 2012. Т. 447, №1. С. 106–109.
7. Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.
8. Фимушин Б.С. Закономерности роста сосновых древостоев и методика оценки ущерба, наносимого им промышленными выбросами в условиях пригородной зоны Свердловска: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Свердловск, 1979. – 169 с.
9. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. – 354 с.
10. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере. – СПб: БИН РАН, 1997. – 210 с.