

## Связь между характеристиками состояния деревьев и древостоев сосны обыкновенной в крупном промышленном городе

Д. В. ВЕСЕЛКИН<sup>1</sup>, В. А. ГАЛАКО<sup>2</sup>, В. Э. ВЛАСЕНКО<sup>2</sup>, С. А. ШАВНИН<sup>2</sup>, Е. Л. ВОРОБЕЙЧИК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
E-mail: denis\_v@ipae.uran.ru*

<sup>2</sup> *Ботанический сад УрО РАН  
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а  
E-mail: common@botgard.uran.ru*

Статья поступила 11.11.2013

Принята к печати 14.04.2014

### АННОТАЦИЯ

Проанализированы характеристики состояния отдельных деревьев и древостоев сосны обыкновенной на участках с разным уровнем урбанизации, расположенных в черте городской застройки г. Екатеринбурга, в поясе лесопарков и вне города. В лесопарках состояние древостоев по сравнению с загородными лесами существенно не изменяется, а в зоне застройки наблюдается снижение запаса древесины. Статистический анализ показал, что это обусловлено суммацией изменений густоты древостоя и размеров деревьев, а достоверно связанное с загрязнением среды и рекреацией ухудшение санитарного состояния деревьев определяет только небольшую долю изменчивости запаса. Показано, что зрелые насаждения в городе длительное время сохраняют устойчивость к действию негативных факторов среды.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, городские насаждения, урболесоведение, жизненное состояние, продуктивность.

Осознание специфики лесопользования в условиях города привело к формированию отдельного направления лесоведения – “urban forestry”, находящегося на стыке науки, искусства и технологии управления естественными лесами и искусственными посадками в городских местообитаниях [Konijnendijk et al., 2006; McPherson, 2006; Рысин, Рысин, 2007, 2011]. Задачи изучения и управления городскими насаждениями взаимосвязаны, поскольку познание механизмов устойчи-

вости деревьев и древостоев необходимо для разработки мероприятий по стабилизации их экологических и социальных функций в условиях города [Рысин, Рысин, 2007, 2011]. В целом результаты изучения урбанизированных лесов свидетельствуют о закономерном ослаблении отдельных деревьев, ухудшении их жизненного и санитарного состояния, значительной подверженности фитопатогенным инвазиям и общем снижении устойчивости городских насаждений вплоть до пол-

ного разрушения. Причины этого разнообразны и могут быть обусловлены действием механизмов различного уровня – физиологического, например, прямое повреждение поллютантами [Илькун, 1978; Кулагин, 1985; Онучин, Козлова, 1993; Черненко, 2002; Шергина, Михайлова, 2007], онтогенетического, связанного с пессимальностью условий и ухудшением обеспеченности ресурсами [Кулагин, 1985; Ведерников, Бухарина, 2010], популяционного, например, трансформация возрастной структуры и снижение успешности возобновления [Репшас, 1994; Экологическое состояние..., 2009; Толкач, 2011; Толкач, Добротворская, 2011], экологического, например, корневое питание, инвазии фитопатогенов [Лебедев, 1998; Колтунов и др., 2007; Шергина, Михайлова, 2007; Селочник, 2008; Веселкин, Кайгородова, 2013; Веселкин и др., 2013].

Важно выяснить, как частные показатели состояния отдельных деревьев, например, их ростовые или санитарные характеристики, связаны с общим состоянием и средостабилизирующими функциями городских насаждений. Существует два аспекта анализа такой взаимосвязи: во-первых, в какой степени трансформация разных признаков жизненного состояния отдельных деревьев сказывается на интегральных характеристиках древостоя; во-вторых, какие из легко, строго или стандартно измеряемых показателей состояния отдельных деревьев целесообразно использовать в качестве индикаторов состояния древостоев с целью оптимизации мониторинговых исследований.

Цель работы – оценить степень трансформации параметров состояния деревьев и лесоводственно-таксационных характеристик сосновых древостоев в крупном промышленном городе (на примере г. Екатеринбурга), чтобы установить, какие из признаков организменного уровня наиболее тесно сопряжены с параметрами, детерминирующими средостабилизирующие функции городских насаждений. Ключевой характеристикой, связанной с выполнением таких функций (участие в круговороте биогенных элементов, регуляция газового состава и микроклимата, депонирование поллютантов), мы считали запас древесины. Другими словами, задача состояла в выявлении в городских насажде-

ниях параметров состояния деревьев, теснее всего связанных с изменением общей продуктивности древостоев.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Район исследований.** Екатеринбург – промышленный мегаполис Среднего Урала площадью 49,8 тыс. га с населением около 1,4 млн жителей – один из крупнейших городов России. По лесорастительному районированию Б. П. Колесникова [1973] он расположен в южно-таежном округе Зауральской холмисто-предгорной провинции. На окружающих Екатеринбурга территориях в настоящее время преобладают сосновые леса на дерново-подзолистых почвах и буроземах. В силу значительного количества промышленных предприятий территория Екатеринбурга сильно загрязнена [Стурман, 2008]. В 2010–2012 гг. атмосферные выбросы составляли около 190–215 тыс. т/год (соединения серы, углерода и азота, минеральная пыль, тяжелые металлы), из которых около 10–12 тыс. т приходилось на соединения азота. Почвы Екатеринбурга загрязнены тяжелыми металлами: по данным 2010 г. максимальное содержание меди в почвах центра города превышало фоновые значения в 58 раз, никеля – в 20, свинца – в 18, хрома – в 8, цинка – в 6, кадмия и марганца – в 3 раза [Государственный доклад..., 2011]. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы (до 85 %) вносит городской автотранспорт [Стурман, 2008; Государственный доклад..., 2011, 2013]. Почти треть (15,3 тыс. га) территории Екатеринбурга занимают лесопарки и городские насаждения, большинство из которых естественного происхождения. Лесопарки сосредоточены в основном на периферии города; большинство из них граничит с прилегающими внегородскими лесами или сельскохозяйственными угодьями.

**Пробные площади.** Исследования базируются на материалах, полученных в 2012 г. на постоянных и временных пробных площадях (ПП), расположенных на территории г. Екатеринбурга и его ближайших окрестностей (см. рисунок). В городе пробные площади размещали на участках с разной плотностью жилой застройки: в лесопарках (Юго-Запад-



Схема расположения пробных площадей (отмечены кружками; цифры – номера ПП) в зоне городской застройки Екатеринбурга (серая заливка; линии – основные транспортные магистрали), в лесопарках и окрестностях города. Загородный участок в районе оз. Глухое и Чусовское расположен в 8–10 км на запад от границы городской застройки

ный, Лесоводов России, Калиновский, Семь Ключей, дендрарий Ботанического сада УрО РАН), в сосновых массивах и участках в зоне застройки (внутригородские насаждения, изолированные от основного лесопаркового кольца города в 1970–1980-х гг., т. е. 40–30 лет назад).

Таким образом, сравниваются насаждения трех вариантов: загородные ( $n = 6$ ), лесопарковые ( $n = 20$ ) и внутригородские ( $n = 11$ );

всего – 37 ПП. Эти три категории насаждений выстраиваются в градиент по степени трансформированности местообитаний, который обозначен как градиент урбанизации. В данном случае урбанизация понимается широко – как влияние на природные экосистемы всех прямых и косвенных факторов, связанных с городской застройкой. В качестве характеристик рекреационного воздействия использовали оценки численности населения

## Доступность для посещения и рекреационная нарушенность загородных и урбанизированных участков

Характеристика	Участки		
	загородные	лесопарки	внутригородские
Численность населения в радиусе 1 км от ПП с использованием разных предикторов, тыс. чел. (медиана и размах):			
дошкольные учреждения	0	7 (0–37)	24 (3–57)
аптеки	0	3 (0–24)	24 (3–51)
Степень рекреационной дигрессии, балл (медиана и размах)	2 (0–4)	2 (0–4)	4 (2–5)

в радиусе 1 км от ПП (полученные с использованием ПО “ДубльГИС–Екатеринбург”, приняв, что одно детское дошкольное учреждение соответствует 3,3 тыс. населения, а одна аптека – 2,7 тыс.) и степени рекреационной дигрессии напочвенного покрова ПП по ОСТ 56–100–95 [1995] (табл. 1). Ясные различия по доступности для посещения и по степени рекреационной нарушенности очевидны как между загородными и лесопарковыми участками, так и между лесопарками и лесными фрагментами в селитебной зоне. Для характеристики степени загрязнения среды использовали оценки концентрации  $\text{NO}_2$ , содержащегося почти исключительно в выбросах автотранспорта, в атмосфере [Антропов, Вараксин, 2011]. Все загородные ПП (№ 7–9, 11, 12, 60) характеризуются минимальным диапазоном среднесуточных концентраций  $\text{NO}_2$  (0–9  $\text{мкг/м}^3$ ). В лесопарках на 7 ПП (№ 17, 18, 21, 23, 24, 26, 29)  $\text{NO}_2$  присутствует в концентрации 0–9  $\text{мкг/м}^3$ , на 11 ПП (№ 1–3, 5, 6, 13–16, 28, 58) – в концентрации 10–19  $\text{мкг/м}^3$ , на двух ПП (№ 4, 57) – в концентрации 20–50  $\text{мкг/м}^3$ . В зоне жилой застройки три ПП (№ 51–53) характеризуются минимальными (0–9  $\text{мкг/м}^3$ ) концентрациями  $\text{NO}_2$ , четыре ПП (№ 43, 46–48) – промежуточными (10–19  $\text{мкг/м}^3$ ), четыре ПП (№ 44, 49, 54, 55) – максимальными (20–50  $\text{мкг/м}^3$ ).

**Методика работ.** Критерии отбора ПП выбраны следующими: происхождение древостоев – естественное; доля сосны в древостое по запасу – более 90 %; средний возраст деревьев основного яруса – не менее 110 лет; насаждения расположены в транзитных элементах рельефа (т. е. не в ложбинах и днищах понижений, но и не на элювиальных позициях); лесорастительные условия на

всех участках соответствуют разнотравной группе типов леса. Еще одним важным критерием отбора являлось отсутствие свежих и/или масштабных и/или целенаправленных антропогенных нарушений почвенного покрова (дороги, раскопы), древостоев (пожары, рубки) и живого напочвенного покрова (кошение).

Пробные площади на загородных участках и в лесопарках закладывали согласно ОСТ 56–69–83 [1995] площадью 0,3 га (50 × 60 м) с числом деревьев основного яруса 70–190 экз. на ПП. На внутригородских участках исследования выполнены на лесных учетных площадках размером 0,0625 га (25 × 25 м) с числом деревьев от 10 до 40 экз. [Анучин, 1982; Ярославцев, 2004]. На каждой ПП проводили сплошной пересчет деревьев с измерением диаметра ствола на высоте 1,3 м мерной вилкой с точностью до 1 см и высоты электронным высотомером с точностью 0,5 м. Возраст определяли на кернях, отобранных возрастным буром, у 6–10 модельных экземпляров на каждой ПП, подобранных пропорционально представительству деревьев разных ступеней толщины. Оценка жизненного состояния деревьев проведена визуально стандартными методами: у каждого дерева определяли класс повреждения по шестибалльной шкале [Алексеев, 1997; Методика..., 1995], усредняя значения которых получали индекс поврежденности деревьев на ПП. У каждого дерева определяли также степень дефолиации кроны [Санитарные правила..., 1998] и среднюю продолжительность жизни хвои [Manual..., 1994].

**Статистический анализ** выполнен в пакете STATISTICA 6.0. Применение параметрических методов (ANOVA и ANCOVA, регрес-

сионный и корреляционный анализ) обосновано удовлетворительными результатами предварительной проверки нормальности распределения переменных и оценки однородности дисперсий по критерию Левена. В отношении единственной переменной – класса бонитета – использованы непараметрические варианты ANOVA (критерий Краскела–Уоллеса) и корреляционного анализа (коэффициент Спирмена). При выборе оптимальных моделей множественной регрессии использовали методологию мультимодельного вывода [Burnham, Anderson, 2002].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения морфологических характеристик деревьев в градиенте урбанизации, т. е. различия между тремя контрастно различающимися группами местообитаний – загородными, лесопарковыми и внутригородскими – оказались незначительными. Установлен слабый, статистически незначимый тренд умень-

шения среднего диаметра и высоты дерева при переходе от загородных к внутригородским насаждениям (табл. 2), причем снижение диаметра на 2–6 см и высоты на 1–4 м могут быть объяснены меньшим средним возрастом древостоев в зоне городской застройки (табл. 3).

В отличие от морфологических характеристик, изменение параметров жизненного состояния деревьев в городе свидетельствует о выраженном негативном изменении с ростом степени урбанизации. При переходе от загородных участков к лесопарковым и далее к внутригородским значимо возрастает индекс поврежденности деревьев. Урбанизация также сопровождается снижением густоты охвоения крон, что связано со снижением средней продолжительности жизни хвои.

Средний возраст древостоев (см. табл. 3) слабо связан с характеристиками жизненного состояния деревьев, поэтому, как следует из результатов ковариационного анализа

Т а б л и ц а 2

Характеристики древостоя сосны в загородных и урбанизированных насаждениях ( $m \pm SE$ )

Характеристика	Участки			Значимость различий			
	загородные ( $n = 6$ )	лесопарки ( $n = 20$ )	внутри- городские ( $n = 11$ )	ANOVA		ANCOVA	
				$F$ или $H$	$P$	$F$	$P$
Характеристики деревьев							
Диаметр, см ( $D$ )	41 ± 2	42 ± 1	37 ± 2	1,54	0,228	0,35	0,709
Высота, м ( $H$ )	27 ± 1	27 ± 1	25 ± 1	3,05	0,061	1,67	0,216
Возраст, лет ( $A$ )	127 ± 7	130 ± 3	115 ± 4	3,58	0,039	–	–
Индекс поврежденности, балл ( $I$ )	2,5 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,1 ± 0,1	5,75	0,007	5,04	0,012
Степень дефолиации, % ( $F$ )	38 ± 4	41 ± 1	47 ± 2	4,03	0,027	2,88	0,070
Продолжительность жизни хвои, лет ( $L$ )	2,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1	6,57	0,004	5,14	0,011
Характеристики древостоев							
Густота древостоя, экз./га ( $N$ )	331 ± 42	311 ± 31	318 ± 54	0,04	0,961	0,35	0,710
Класс бонитета, балл ( $B$ )	II	I–IV	I–IV	2,62	0,270	–	–
Запас древесины живых де- ревьев, м <sup>3</sup> /га ( $M$ )	466 ± 34	452 ± 18	348 ± 30	5,87	0,006	7,13	0,003
Доля сухостоя в запасе дре- весины, % ( $T$ )	1,2 ± 0,8	1,9 ± 0,4	0,9 ± 0,6	1,06	0,358	0,33	0,723

П р и м е ч а н и е.  $n$  – количество пробных площадей; ANOVA – однофакторный дисперсионный анализ ( $dF_{\text{фактора}} = 2$ ;  $dF_{\text{ошибки}} = 34$ ); ANCOVA – однофакторный ковариационный анализ ( $dF_{\text{фактора}} = 2$ ;  $dF_{\text{ошибки}} = 33$ ; ковариата – средний возраст деревьев на пробной площади);  $F$  – критерия Фишера;  $H$  – критерий Краскела – Уоллеса (рассчитывался только для класса бонитета);  $P$  – достигнутый уровень значимости; прочерк означает невозможность оценки.

Матрица коэффициентов корреляции (над диагональю) и их уровней значимости (под диагональю) между характеристиками древостоя сосны ( $n = 37$ )

Параметр	Параметр									
	дерева				древостоя					
	D	H	A	I	F	L	N	B	M	T
Диаметр (D)	-	+0,26	+0,42	-0,36	-0,24	+0,17	-0,87	-0,02	+0,14	-0,04
Высота (H)	0,119	-	+0,33	-0,01	-0,10	+0,02	-0,19	-0,80	+0,52	+0,15
Возраст (A)	<b>0,011</b>	<b>0,048</b>	-	-0,17	-0,25	+0,30	-0,31	+0,04	+0,01	<b>+0,33</b>
Индекс поврежденности (I)	<b>0,028</b>	0,973	0,316	-	<b>+0,80</b>	-0,78	+0,21	+0,05	-0,15	+0,32
Степень дефолиации (F)	0,148	0,553	0,141	< <b>0,001</b>	-	-0,81	+0,08	+0,08	-0,24	-0,01
Продолжительность жизни хвои (L)	0,305	0,901	0,068	< <b>0,001</b>	< <b>0,001</b>	-	+0,01	-0,04	+0,26	-0,02
Густота древостоя (N)	< <b>0,001</b>	0,249	0,059	0,202	0,647	0,948	-	+0,01	<b>+0,47</b>	+0,21
Класс бонитета (B)	0,927	< <b>0,001</b>	0,830	0,753	0,642	0,817	0,963	-	-0,40	-0,09
Запас древесины живых деревьев (M)	0,415	<b>0,001</b>	0,956	0,364	0,150	0,127	<b>0,003</b>	<b>0,013</b>	-	+0,18
Доля сухостоя в запасе древесины (T)	0,814	0,386	<b>0,043</b>	0,054	0,935	0,908	0,211	0,579	0,300	-

П р и м е ч а н и я. Приведены коэффициенты корреляции Пирсона, за исключением коэффициентов, относящихся к классу бонитета, для которого приведены коэффициенты корреляции Спирмена; полужирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты и уровни значимости.

(см. табл. 2), различия среднего возраста деревьев между городскими и загородными насаждениями незначительно модифицируют выраженность эффектов, связанных с урбанизацией. Следует подчеркнуть, что все три характеристики жизненного состояния деревьев, судя по значениям коэффициентов корреляции, тесно связаны друг с другом, что свидетельствует об объективности описываемых закономерностей повреждения сосны в градиенте урбанизации. Поэтому заключение об ухудшении жизненного состояния сосны в условиях города является надежным.

Часть характеристик древостоя – общая густота, класс бонитета и доля сухостоя – не связаны с уровнем урбанизации. Вместе с тем в городе существенно уменьшается запас древесины, что косвенно свидетельствует о снижении фитомассы древесного яруса. Этот эффект существенен как в абсолютном выражении (от 365–577 м<sup>3</sup>/га за городом до 328–534 м<sup>3</sup>/га в лесопарках и до 251–440 м<sup>3</sup>/га в зоне городской застройки; различия между крайними вариантами составляют 20–30%), так и в отношении статистической надежности заключения. Уменьшение запаса происходит независимо от изменения среднего возраста деревьев (см. табл. 2, 3).

Исходя из полученных данных, можно предположить, что к 20–30%-ному снижению запаса приводит суммирование незначительных негативных эффектов изменения изученных характеристик древостоя. Это предположение поддерживается, в частности, результатами множественного линейного регрессионного анализа, связывающего общий запас древесины со средними размерами деревьев и густотой древостоев (с использованием стандартизированных частных коэффициентов):

$$M = 1,43N + 0,97D + 0,55H. \quad (1)$$

Полученная регрессионная модель (обозначения переменных см. в табл. 2) характеризуется достаточно высоким качеством ( $R^2 = 0,83$ ;  $p \ll 0,001$ , частные коэффициенты статистически значимы на уровнях  $p < 0,01 \dots 0,001$ ), но в определенной степени тривиальна, поскольку “имитирует” способ расчета величины запаса. В соответствии с полученным уравнением, запас древесины (M) в насаждении возрастает с увеличением густоты древостоя (N), а также с увеличе-

нием диаметра ( $D$ ) и высоты ( $H$ ) среднего дерева. Причем увеличение густоты древостоя сказывается на величине запаса в наибольшей степени, а возрастание высоты деревьев – в наименьшей.

Чтобы установить, влияет ли на общую величину запаса древесины изменение санитарного состояния отдельных деревьев, использовали процедуру отбора оптимальной комбинации предикторов с использованием информационного критерия Акаике ( $AIC$ ) для случая линейных аддитивных моделей. Найдено, что наилучшим соотношением точность/простота обладает следующая регрессионная модель (с использованием стандартизованных частных коэффициентов):

$$M = 1,39N + 0,94D + 0,60H - 0,17A - 0,14I. (2)$$

Качество этого уравнения по сравнению с “тривиальной” моделью (1) несколько выше ( $R^2 = 0,86$ ;  $p \ll 0,001$ ; частные коэффициенты при переменных  $N$ ,  $D$  и  $H$  значимы на уровне  $p < 0,01 \dots 0,001$ , коэффициент при  $A$  – на уровне  $p = 0,037$ , при  $I$  – на уровне  $p = 0,074$ ). По сравнению с “тривиальной”, модель (2) существенно лучше: соотношение весов Акаике равно  $0,50/0,09 = 5,60$ . Другие сочетания дополнительных предикторов – либо только возраст деревьев ( $A$ ), либо только индекс поврежденности ( $I$ ) – не дают значительного преимущества по сравнению с моделью (1): соотношение весов равно  $1,78$  и  $2,74$  соответственно. Остальные модели, если они не включают одновременно три основных предиктора ( $N$ ,  $D$  и  $H$ ), намного хуже модели (1).

Основные детерминанты величины запаса древесины (густота древостоя, диаметр, высота) присутствуют в уравнении (2) с теми же знаками и с очень близкими коэффициентами, что и в уравнении (1). Дополнительное присутствие переменной “средний возраст деревьев” в качестве предиктора с отрицательным знаком подтверждает, что наибольшие последствия для динамики уровня запаса имеет снижение с возрастом густоты древостоя вследствие активизации отпада и изреживания (см. табл. 3: частная корреляция между возрастом и густотой отрицательна ( $r = -0,31$ ), а между возрастом и долей сухостоя – положительна ( $r = +0,34$ )). По-видимому, увеличение размеров деревьев в

процессе роста (корреляция с возрастом для диаметра  $r = +0,42$ , для высоты  $r = +0,33$ ) не компенсирует происходящее снижение густоты древостоя. Единственная среди предикторов запаса в уравнении (2) переменная, связанная с жизненным состоянием деревьев – индекс их интегральной поврежденности. Эта переменная входит в уравнение с отрицательным знаком, т. е. ухудшение санитарного состояния приводит к снижению запаса древостоя. Вместе с тем нужно отметить небольшой прямой вклад этой переменной – около 2 % из 86 % общей дисперсии, объясняемой уравнением (2).

Полученные материалы можно интерпретировать следующим образом. Жизненное состояние и морфологические характеристики деревьев в лесопарковой зоне г. Екатеринбург в среднем слабо изменяются по сравнению с загородными лесами. Существенные изменения состояния отдельных деревьев и всего древостоя регистрируются в насаждениях внутри жилых кварталов (ПП № 44, 46, 47, 53, 55). Из показателей организменного уровня существенно меняются только параметры жизненного состояния, а не морфометрические характеристики отдельных деревьев. Это заключение хорошо согласуется с результатами других авторов, показавших, что при высокой дефолиации хвойных деревьев (до 30–40 %) может поддерживаться их значительный радиальный прирост [Schmid-Naas, 1989; Beyschlag et al., 1994]. Причиной может быть улучшение условий освещенности кроны и высокая фотосинтетическая активность молодой хвои, что, в конечном счете, обеспечивает прирост, сравнимый с приростом здоровых деревьев. Однако незначительные изменения средних диаметров и высот деревьев, а также густоты древостоя, суммируясь, детерминируют установленное снижение общего запаса древесины на 20–30 % в городских насаждениях.

Следует отметить, что даже установленное снижение запаса нельзя считать критичным. Отчасти оно компенсируется на цено-точеском уровне перестройками, связанными с разрастанием под пологом сосны кустарников и второго яруса лиственных пород [Золотарева и др., 2012; Толкач, Добротворская, 2011]. В целом уровень устойчивости взрослых деревьев сосны в крупном промыш-

ленном городе остается достаточно высоким, несмотря на ухудшение санитарного состояния деревьев и активизацию поражения их фитопатогенными грибами [Веселкин и др., 2013]. Анализ полученных данных свидетельствует, что зрелые сосновые насаждения города находятся в удовлетворительном состоянии и сохраняют способность выполнять средостабилизирующие функции. Это не означает, что леса на территории Екатеринбурга не подвергаются существенной опасности. Утверждение об относительной устойчивости справедливо только по отношению к таким компонентам комплексного воздействия урбанизации, как загрязнение и эффекты рекреационного воздействия. Критическими же для лесной растительности в городском окружении являются фрагментация территории, связанная с прямыми антропогенными нарушениями (вырубки, устройство дорог, строительство сооружений и др.), а также процессы лесовосстановления, включая семеношение и формирование жизнеспособного подростка [Репшас, 1994; Экологическое состояние..., 2009; Толкач, 2011; Толкач, Добротворская, 2011].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В городских лесопарках зеленого пояса г. Екатеринбурга основные морфометрические характеристики и показатели санитарного состояния деревьев сосны обыкновенной и древостоев по сравнению с пригородными лесами изменяются несущественно. Другими словами, естественно обусловленный региональный уровень общей продуктивности древостоев сосны в лесопарках не изменяется. В насаждениях внутри зоны городской застройки достоверно ухудшается санитарное состояние деревьев, снижается продолжительность жизни хвои и запас древесины живых деревьев. В соответствии с построенной множественной регрессионной моделью, причиной наблюдаемого снижения запаса на урбанизированных участках является суммация небольших изменений густоты древостоя, морфометрических характеристик деревьев и их жизненного состояния. При этом ухудшение санитарного состояния деревьев обуславливает только небольшую долю изменчиво-

сти запаса – около 2 % из 86 % общей дисперсии, объясняемой моделью. В целом зрелые сосновые древостои на территории крупного промышленного города способны длительное время сохранять устойчивость к негативному воздействию таких факторов городской среды, как загрязнение и эффекты рекреации.

Работа выполнена в рамках плана исследований Интеграционного проекта УрО РАН (12-И-4-2057). При характеристике уровня рекреационной дигрессии напочвенного покрова использованы данные канд. биол. наук О. В. Толкач (БС УрО РАН).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. С. Мониторинг лесных экосистем. СПб.: ЛТА, 1997. 116 с.
- Антропов К. М., Варакин А. Н. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Екатеринбурга диоксидом азота методом Land Use Regression // Экологические системы и приборы. 2011. № 8. С. 47–54.
- Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- Ведерников К. Е., Бухарина И. Л. Особенности морфогенеза годичного прироста древесных растений в условиях городской среды // Лесоведение. 2010. № 6. С. 33–38.
- Веселкин Д. В., Кайгородова С. Ю. Связь между агрохимическими свойствами почв урбанизированных лесов и строением эктомикориз сосны обыкновенной // Агрехимия. 2013. № 11. С. 63–71.
- Веселкин Д. В., Колтунов Е. В., Кайгородова С. Ю. Влияние агрохимических свойств почв на распространение корневых и стволовых гнилей сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в урбанизированных лесах // Изв. Самар. НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3. С. 249–255.
- Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2010 г.”. Екатеринбург, 2011. 350 с.
- Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2012 г.”. Екатеринбург, 2013. 307 с.
- Золотарева Н. В., Подгаевская Е. Н., Шавнин С. А. Изменение структуры напочвенного покрова сосновых лесов в условиях крупного промышленного города // Вестн. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2012. № 5 (37). С. 218–221.
- Илькун Г. М. Загрязнение атмосферы и жизнь растений. Киев: Наук. думка, 1978. 248 с.
- Колесников Б. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск, 1973. 175 с.
- Колтунов Е. В., Залесов С. В., Лаишевцев Р. Н. Корневая и стволовая гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в городских лесопарках г. Екатеринбурга // Леса России и хозяйство в них. 2007. Вып. 1. С. 238–246.
- Кулагин Ю. З. Индустриальная дендрология и прогнозирование. М.: Наука, 1985. 118 с.



- Лебедев А. В. Корневая губка в рекреационных ельниках и диагностика поражений деревьев // Изв. вузов. Лесной журн. 1998. № 4. С. 29–35.
- Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP-Forest (методика ЕЭК ООН). М., 1995. 42 с.
- Онучин А. А., Козлова Л. Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны под влиянием поллютантов в лесостепной зоне Средней Сибири // Лесоведение. 1993. № 2. С. 39–45.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. М., 1989. 60 с.
- ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. М., 1995. 8 с.
- Репшас Э. А. Оптимизация лесопользования (на примере Литвы). М.: Наука, 1994. 240 с.
- Рысин Л. П., Рысин С. Л. Перспективы развития урблесоведения в России // Вестн. МГУЛ. Лесной вестн. 2007. № 4. С. 45–49.
- Рысин С.Л., Рысин Л.П. О необходимости разработки концепции рекреационного лесопользования на урбанизированных территориях // Там же. 2011. № 4. С. 129–138.
- Санитарные правила в лесах России. М.: Наука, 1998. 16 с.
- Селочник Н. Н. Факторы деградации лесных экосистем // Лесоведение. 2008. № 5. С. 52–60.
- Стурман В. И. Природные и техногенные факторы загрязнения атмосферного воздуха российских городов // Вестн. Удмурт. ун-та. Биология. Науки о земле. 2008. Вып. 2. С. 15–29.
- Толкач О. В. Сосновый подрост в условиях техногенного и рекреационного воздействия в зеленых зонах г. Екатеринбурга // Леса России и хозяйство в них. 2011. № 3. С. 30–36.
- Толкач О. В., Добротворская О. Е. Состояние возобновления в зеленых зонах г. Екатеринбурга // Изв. Самар. НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 1(4). С. 919–921.
- Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 119 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. 200 с.
- Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / отв. ред. Л. И. Милютин. Новосибирск: Гео, 2009. 179 с.
- Ярославцев С. В. Особенности строения полога ельников Крайнего Севера // Экологические проблемы Севера / ред. П. А. Феклистов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. Вып. 7. С. 69–70.
- Burnham K. P., Anderson D. R. Model selection and multi-model inference: A practical information-theoretical approach. N.Y.: Springer-Verlag, 2002. 488 p.
- Beyschlag W., Ryel R. J., Dietsch C. Shedding of older needle age classes not necessarily reduce photosynthetic primary production of Norway spruce // Trees – Structure and Function. 1994. Vol. 9, N 1. P. 51–59.
- Konijnendijk C. C., Ricard R. M., Kenney A., Randrup T. B. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe // Urban Forestry and Urban Greening. 2006. Vol. 4, N 3–4. P. 93–103.
- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg; Prague: Programme Coordinating Centers / UN-ECE, 1994. 177 p.
- McPherson E.G. Urban forestry in North America // Renewable Res. Journ. 2006. Vol. 4, N 3. P. 8–12.
- Schmid-Haas P. Do the observed needle loss reduce increments? // Air pollution and forest decline: Proc 14-th. Int. meet. Birmensdorf, 1989. P. 271–276.

## The Relationship Between the Characteristics of the State of Scots Pine Trees and Tree Stands in the Large Industrial City

D. V. VESELKIN<sup>1</sup>, V. A. GALAKO<sup>2</sup>, W. E. VLASENKO<sup>2</sup>, S. A. SHAVNIN<sup>2</sup>, E. L. VOROBICHIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS  
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202  
E-mail: denis\_v@ipae.uran.ru*

<sup>2</sup> *Botanical Garden UB RAS  
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202a  
E-mail: common@botgard.uran.ru*

The characteristics of the state of Scots pine individual trees and tree stands in the areas with different levels of urbanization, including areas inside Yekaterinburg, city parks and forests outside of the city were studied. In city parks the tree stands' state did not differ much from the state of the trees growing outside of the city, but inside the city timber volume decreased. Statistical analysis showed that this effect was due to summation of changes in stand density and trees size. Deterioration of the sanitary state of the trees due to environmental pollution and recreation accounted only for a small part of the changes in the volume stock. It was shown that mature tree stands in the city stayed resistant to the influence of negative environmental factors for a long time.

**Key words:** Scots pine, city tree stands, urban forestry, tree vitality, productivity.